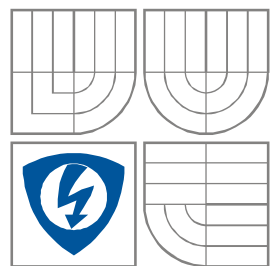


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ZBRAŇOVÝ SYSTÉM PRO LASERTAG

LASERTAG GUN MODULE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

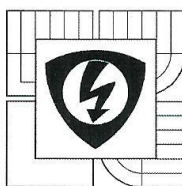
Bc. Viktor Sekanina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zbyněk Fedra, PhD.

BRNO, 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Viktor Sekanina

Ročník: 2

ID: 106766

Akademický rok: 2012/13

NÁZEV TÉMATU:

Zbraňový systém pro lasertag

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem a požadavky na funkčnost vybavení (zbraň a vesta) pro hry na bázi lasertag. Navrhněte blokově propojení a strukturu periférií (napájení, senzory, displej, paměť, optické elementy, atd.) a z toho vzniklé požadavky na řídicí procesor.

Sestavte jednotlivé části systému a otestujte parametry (dosah pro detekci zásahu, rozptyl IR paprsku, možnosti modulace IR paprsku, ...). Ve spolupráci s vedoucím definujte a odzkoušejte rozhraní pro komunikaci s nadřazenými jednotkami.

Sestavte a otestujte kompletní zařízení. Upravte jednotlivé části pro potřeby reálného provozu (nároky na velikost, flexibilitu a odolnost). Otestujte jeho chování v celém systému spolu s nadřazenými jednotkami a systémem dohledu a vyhodnocení celé hry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HAGEN, W. The Definitive Guide to GCC. 2nd ed. New York: Apress, 2006.


[2] MANN, B. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN - technická literatura, 2003.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Zbyněk Fedra, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:


prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem parametrů součástí elektrických a elektronických obvodů pro hru lasetag. Jsou zde popisovány jednotlivé části a navrženo jejich pospojování.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikrokontrolér, lasetag, LED, vesta, zbraň, RS-485, infračervený

ABSTRACT

Master's thesis describes the design parameters of components of electrical and electronic circuits for the game lasetag. There are described the various components and suggested their connection.

KEYWORDS

Microcontroller, lasetag, LED, vest, weapon, RS-485, infrared

SEKANINA, V. *Zbraňový systém pro lasertag*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2013. 44 s., 18 s. příloh. Semestrální práce. Vedoucí práce: Ing. Zbyněk Fedra, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Jako autor semestrální práce na téma Zbraňový systém pro lasertag dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu semestrální práce Ing. Zbyňku Fedrovi, Ph.D. a také Ing. Aleši Povalači za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	ix
Úvod	10
1 Propojení modulů a vývoj návrhu	11
1.1 Architektura modulů	11
1.2 Sériová linka RS-485.....	12
1.3 Testování dosahu infračervených LED	14
1.4 Přenos dat pomocí laseru	17
1.4.1 Modulace laserového paprsku.....	17
1.5 Detekce zásahu.....	18
1.6 Prvotní návrh.....	21
1.7 Nový návrh	23
2 Moduly zbraňového systému	24
2.1 Jednotka zásahu.....	24
2.2 Napájecí modul	28
2.2.1 Napájení, akumulátor a jeho nabíjení	29
2.2.2 Řízení napájecího modulu, akcelerometr	32
2.3 Zbraňová jednotka.....	33
2.3.1 Wi-Fi modul.....	35
2.3.2 Zobrazovací jednotka	36
2.3.3 Vibrace zbraně	37
2.3.4 Napájení zbraňové jednotky	37
2.4 Vysílací modul	38
3 Závěr	41
Literatura	42
Seznam symbolů, veličin a zkratk	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Zapojení ISP konektoru.....	11
Obr. 1.2:	Příklad komunikace přes RS-485 (převzato z [17])......	12
Obr. 1.3:	Zapojení převodníku 75ALS176.....	12
Obr. 1.4:	Příklad zapojení modulů na sériovou linku RS-485.	13
Obr. 1.5:	Testovací trubice pro zúžení vyzařovacího úhlu.	14
Obr. 1.6:	Vysílač kódu pro účel testování dosahu IR LED, MCU ATmega16.	14
Obr. 1.7:	Příklad sekvence modulovaných dat vyslaných pomocí IR LED.....	15
Obr. 1.8:	Infračervený laser M850D1. Převzato z [14]......	17
Obr. 1.9:	Blokové schéma připojení laseru k MCU.	17
Obr. 1.10:	Naměřený časový průběh na fotodiodě.	18
Obr. 1.11:	Zachycená datová posloupnost vyslaná pomocí infračervené diody pomocí osciloskopu.	19
Obr. 1.12:	Čidlo TSOP4838.....	20
Obr. 1.13:	Signál na výstupu z infračerveného přijímače TSOP4838.....	20
Obr. 1.14:	Přibližná podoba vesty používané pro hru lasertag.	21
Obr. 1.15:	Původní bloková schémata zbraňového modulu a modulu zásahu.....	21
Obr. 1.16:	Rozmístění vývodů komunikačního modulu, převzato z [2].....	22
Obr. 1.17:	Modul VN-100 určený pro povrchovou montáž (převzato z [4])......	22
Obr. 2.1:	Blokové schéma propojení modulů.....	24
Obr. 2.2:	Blokové schéma jednotky zásahu.	25
Obr. 2.3:	Popis hlavních součástí modulu zásahu.	25
Obr. 2.4:	RGB LED v pouzdře PLCC6 (převzato z [21])......	26
Obr. 2.5:	Zapojení svítících diod.	26
Obr. 2.6:	Zapojení mikrokontroléru ATmega88.	27
Obr. 2.7:	Konektor SPOX (převzato z [30]).	28
Obr. 2.8:	Blokové schéma napájecího modulu.....	28
Obr. 2.9:	Rozmístění prvků na DPS napájecího modulu.	29
Obr. 2.10:	Akupack se jmenovitým napětím 7,2 V a kapacitou 4400 mAh.	30
Obr. 2.11:	Schéma nabíjecího obvodu.....	30
Obr. 2.12:	Schéma měniče napětí na 5 V.....	31

Obr. 2.13: Obvodové zapojení mikrokontroléru na napájecím modulu.	32
Obr. 2.14: Elektrické zapojení akcelerometru.	33
Obr. 2.15: Rozmístění součástek na desce plošného spoje zbraňového modulu.	34
Obr. 2.16: Wi-Fi modul WizFi220 (převzato z [25]).	35
Obr. 2.17: Elektrické zapojení modulu WizFi220.	36
Obr. 2.18: Externí anténa MOLEX - 47950 - 2001 (převzato z [27]).	36
Obr. 2.19: Modul s displejem z NOKIA 6100 (převzato z [28]).	37
Obr. 2.20: Mikrovibrační motor.	37
Obr. 2.21: Schéma DC/DC měniče z 5 V na 3,3 V.	38
Obr. 2.22: Rozložení součástek na vysílacím modulu.	39
Obr. 2.23: Zapojení vývodů mikrokontroléru na vysílacím modulu.	39
Obr. 2.24: Elektrické zapojení infračervené LED a připojení laseru.	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1.1:	Srovnání základních parametrů mikrokontrolérů AVR použitých na modulech zbraňového systému.	11
Tabulka č. 1.2:	Funkce přenášených bytů.....	19
Tabulka č. 1.3:	Pravdivostní tabulky operace XOR.	19
Tabulka č. 2.1:	Důležité parametry kondenzátorů firmy VISHAY.....	31
Tabulka č. 2.2:	Vybrané vlastnosti modulu WizFi220 (hodnoty převzaty z [25])...	35

ÚVOD

Lasegame, známá také jako lasertag, je adrenalinová hra pro 4–10 hráčů. Platí, že čím víc hráčů v aréně, tím víc cílů pro Vás. V temné aréně se běhá, plíží, schovává a střílí po protivnících. Ke schovávání slouží spousta překážek s různými otvory, ve kterých lze najít dobré palebné pozice. Cílem hry je získat co nejvíc bodů za zásahy protivníků pro sebe i pro tým. Lasertag je týmová hra se zbraněmi a vestami (vysílači a čidly) hraná v zatemněné místnosti. Princip hry je stejný jako u jiných her s zbraněmi – zasáhnout hráče protivnickova týmu. Rozdíl je v použitém principu střelné zbraně. Nejsou vystřelovány žádné kuličky či jiné projektily, ale je vyzářeno záření v infračerveném spektru, které je pro lidské oko neviditelné. Překážky v místnosti jsou potaženy tmavým, pro světlo prakticky bezodrazovým materiálem, takže zásah od protihráče závisí pouze na jeho vystřeleném „paprsku“ a správnou detekcí paprsku vestou. V hlavní zbraně je umístěno čidlo (detektor) a také laser, který je určen zejména pro zamíření a případného zásahu (jeho detekce) se vůbec neúčastní. Na vestě jsou umístěny moduly s čidly a LED sloužící pro identifikaci hráče a ke prezentaci různých jevů během hry, např. zásah a „smrt“ hráče. V rámci této diplomové práce je vytvořen hardware (desky plošných spojů), který je navržen pro pospojování se pomocí sériové linky. Prototyp zbraňového systému musí obsahovat software pro hardware, přístupové body a počítače pro komunikaci mezi vestami a databází, který je součástí jiných prací.

1 PROPOJENÍ MODULŮ A VÝVOJ NÁVRHU

Celý koncept je od začátku založen na mikrokontrolérech AVR. Byly projednány i jiné typy mikrokontrolérů, například STM32, ale pro většinu aplikací jsou zbytečně výkonově předimenzované, navíc architektura AVR je dobře známá. Na vestě měl být původně zařízení schopné vysílání a příjmu dat pomocí bezdrátového komunikačního modulu na frekvenci 868MHz, ale tento modul byl nahrazen modulem s rozhraním Wi-Fi. Infračervené detektory budou připojené ke samostatnému mikrokontroléru, který je připojen na RS-485. Na tuto linku bude též připojena zbraň, kde je vedle detektoru ještě přidána IR LED a OLED displej. Na prototypu je osazen namísto OLED displeje displej LCD.

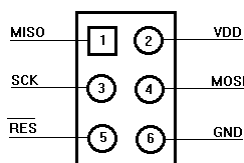
1.1 Architektura modulů

Modul jsou navrženy s mikrokontroléry (MCU) firmy ATMEL AVR ATmega88 na všech modulech kromě zbraňového, kde je osazena ATmega128. Jedná se o známou 8-bitovou řadou mikročipů s harvardskou architekturou, které mají oddělenou paměť programu od paměti dat. Paměť programu je tvořena přepisovatelnou pamětí flash, datová paměť je statická RAM (Random Access Memory). Kromě toho obsahují také přepisovatelnou paměť EEPROM pro uložení dat, která mají být uchována i po vypnutí napájení. Programování mikrokontroléru se provádí pomocí ISP (In System Programming), což je 6-pinový konektor jako na obr.1.1 pro připojení programátoru. Naprogramovat MCU je možno přímo v zapojení, není nutné (a v tomto případě ani možné) vyjmát MCU ze zapojení, protože oba jsou v provedení SMT v pouzdře TQFP. Hlavní rozdíl mezi ATmega88 a ATmega128 je velikost všech pamětí, počet periférií, počet vývodů a také cena. Hlavní znaky obou mikrokontrolérů jsou shrnuty v tabulce 1.1.

MCU	FLASH	SRAM	EEPROM	počet instrukcí	počet čítačů/časovačů	počet USART	pouzdro
ATmega88	8 kB	1kB	512 B	131	3	1	TQFP32
ATmega128	128 kB	4 kB	4 kB	133	4	2	TQFP64

Tabulka č. 1.1: Srovnání základních parametrů mikrokontrolérů AVR použitých na modulech zbraňového systému.

K mikrokontroléru ATmega128 [26] lze připojit vnější paměť o velikosti až 64kB, pro jejíž obsluhu jsou potřeba dvě instrukce navíc (instrukce ELPM), proto má ATmega128 133 místo 131 instrukcí u ATmega88.

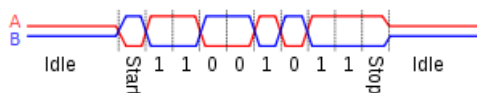


Obr. 1.1: Zapojení ISP konektoru.

Výhodou použití těchto mikrokontrolérů je relativně nízká cena, dostatečný výkon a všeobecná známost těchto mikrokontrolérů umožňující jejich snazší programování. Všechny mikrokontroléry jsou v modulech napájeny napětím 5 V, kromě zbraňové jednotky, tam je použito pro napájení MCU 3,3 V, protože většina obvodů napojených na mikrokontrolér jsou také napájeny z napětí 3,3 V.

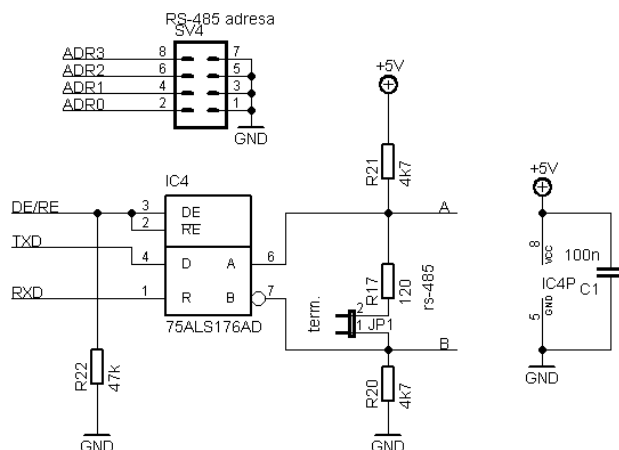
1.2 Sériová linka RS-485

Jde o standard sériové komunikace používaný především v průmyslovém prostředí. Na vestě bude propojovat zbraňový modul s ostatními moduly a zároveň s ní bude vedeno napájení modulů. RS-485 je poloduplexní dvou vodičový sériový spoj, který může obsloužit až 32 zařízení. Vysílat může v jednom čase jen jedno zařízení (modul), ostatní musí přijímat. Vodiče se označují A a B, zároveň s nimi se obvykle vede i zemní vodič.



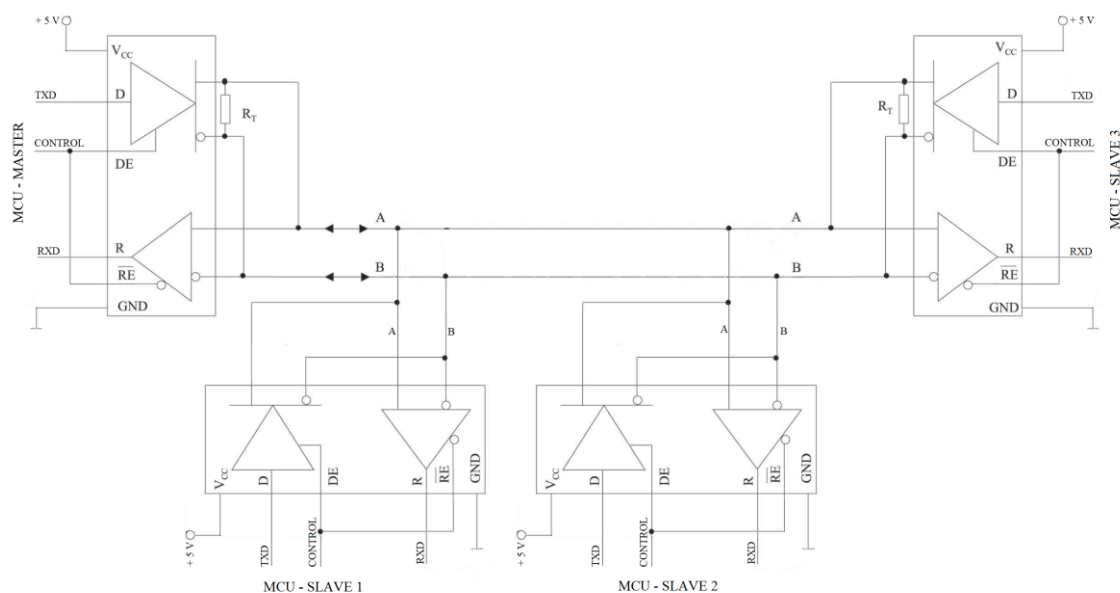
Obr. 1.2: Příklad komunikace přes RS-485 (převzato z [17]).

Podle obrázku 1.2 je přenos bitů na logické úrovni stejný jako u RS-232. Rozdíl je zejména v napěťových úrovních, vodiče A a B nabývají během komunikace kladných a záporných napětí. Převodníky z běžné sériové linky UART na mají diferenciální vstupy (přijímač) a výstupy (vysílač). Takto je výrazně sníženo rušení, protože se rušení objeví pravděpodobně na obou vodičích současně a při vyhodnocení na diferenčních vstupech se rušení eliminuje, jestliže rušení nepřekročí napěťové limity vstupů převodníků úrovně. Proto RS-485 má řádově větší dosah než RS-232 (1 200 m namísto cca. 50 m). RS-232 má i jinou architekturu – k přijímači může být připojen pouze jeden vysílač. Dosah komunikace ovšem v případě propojení modulů není podstatný. Důležitější je snadná implementace do jednotlivých modulů a malý počet propojovacích vodičů. Pro převod úrovní ze sériové linky (UART) mikrokontroléru ATmega88 na RS-485 je použit integrovaný obvod 75ALS176 [4] v 8-pinovém pouzdře SO8. Zapojení převodníku je na obrázku 1.3.



Obr. 1.3: Zapojení převodníku 75ALS176.

Rezistory R20 a R21 zajišťují klidovou logickou úroveň na vodičích A a B. Přepínání mezi vysíláním a příjmem je prováděno vodičem DE/RE, jehož klidová úroveň v log. 0 je zaručena rezistorem R22. Kondenzátor C1 blokuje napájení integrovaného obvodu. Na každém modulu je osazena zkratovací propojka se zakončovacím rezistorem R17 o hodnotě 120 Ω . Zakončit sběrnici je možné na jakémkoli modulu. Na každém modulu jsou čtyři propojky připojené na mikrokontrolér pro nastavení adresy modulu umožňující správnou komunikaci s modulem (celkem $2^4 = 16$ adres). Bitová rychlost stačí malá, protože se posílají data jako ID hráčů, stav akumulátoru apod. Běžně používané komunikační rychlosti jsou např. 9600, 19200, 38400, 115200 Baud. Se zvyšující se komunikační rychlostí klesá dosah komunikace, ale v případě pospojování modulů na vestě jde o krátké vzdálenosti v řádech metrů a rychlost např. 115200 Baud může být bez problémů použita. Příklad pospojování modulů ilustruje obrázek 1.4. Na obrázku je jedno zařízení – MASTER, které řídí komunikaci s ostatními moduly SLAVE. V tomto případě je masterem zbraňový modul, ostatní moduly jsou slave.



Obr. 1.4: Příklad zapojení modulů na sériovou linku RS-485.

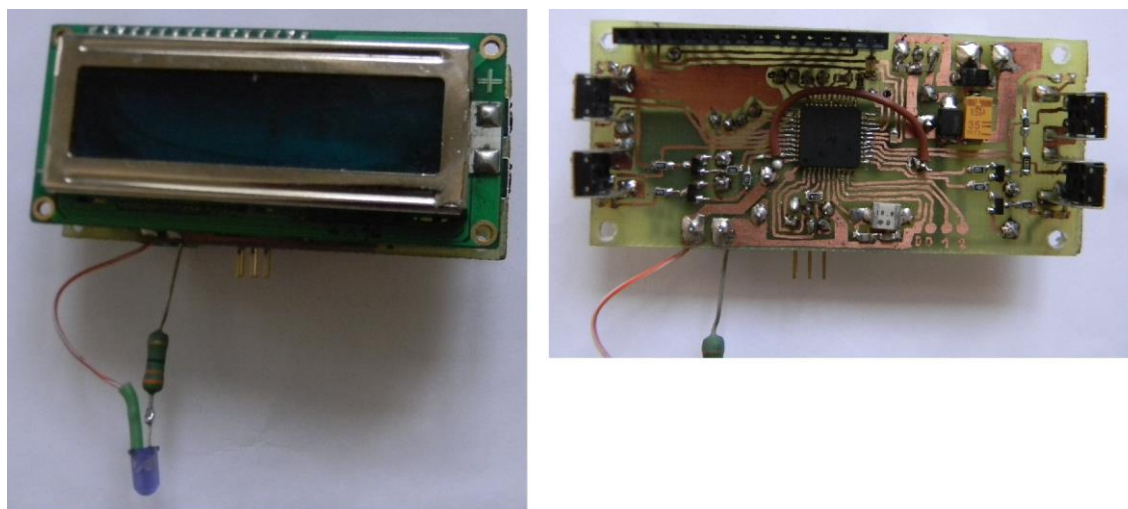
Zobrazena je také zjednodušená vnitřní struktura převodníku a pospojování modulů. Všechny převodníky mohou být identické, lišit se mohou v použití napájení, technologií výroby apod., ale způsob napojení na sériovou linku princip funkce musí zůstat stejný. Rezistory R_T provádí terminaci. Komunikace na lince nemůže být zcela duplexní, vždy existuje master, který řídí komunikaci. Musí existovat protokol, ve kterém je domluveno, kdy mohou vysílat zařízení slave, aby nedošlo k tomu, že by vysílala dvě nebo více zařízení současně. Rozlišení toho, komu komunikace patří se obvykle provádí pomocí adresy. V jednom prototypu zbraňového systému může být max. 16 modulů.

1.3 Testování dosahu infračervených LED

Při vývoji zbraňového systému je významný dosah vysílací IR LED a její vyzařovací úhel. Běžné LED diody mají vyzařovací úhel 20 až 60°, které nejsou vhodné pro použití ve zbraňovém systému. Naopak je potřeba velmi úzký paprsek, co nejmenší vyzařovací úhel. Nejmenší vyzařovací úhel 3° mají některé sériově vyráběné LED, jako například SFH4550 [20] nebo VSLY5850 [18], které mají vlnovou délku emitovaného záření obou LED je 850 nm. Nejmenší vyzařovací úhel svítivých diod je dán plochou polovodiče, ze kterého je dioda vyrobena. Pro účely testování byl vyroben jednoduchý vysílač a přijímač kódu, vysílač je na obrázku 1.6. LED pracovaly v impulsním režimu a byla vyzkoušena typ SFH4550 a další dva neznámé typy. LED byly pokusně opatřeny kovovou trubicou různé délky jako na obrázku 1.5.



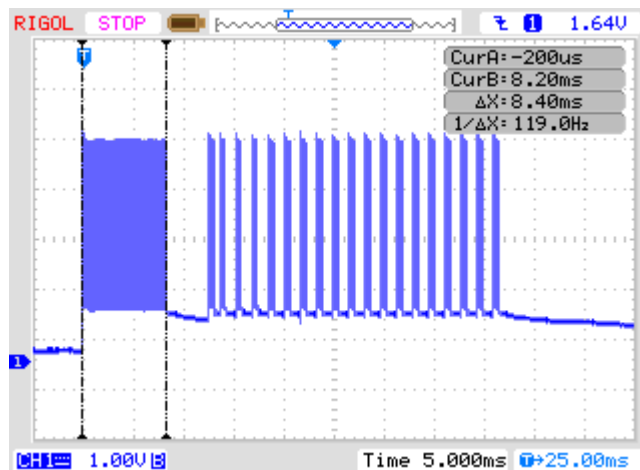
Obr. 1.5: Testovací trubice pro zúžení vyzařovacího úhlu.



Obr. 1.6: Vysílač kódu pro účel testování dosahu IR LED, MCU ATmega16.

Trubice, ve které je nasazena vysílací LED, má omezit vyzařovací úhel. Čím je delší trubice, tím je užší vyzařovací úhel, ale roste útlum, takže na konci hodně velmi dlouhé trubice by již byl paprsek slabý. Při testování vyšlo najevo, že infračervený paprsek se schopen se odrážet od bílých (nečerných) stěn a proto byl dosah dobrý (40 až 50 m), ale vyzařovací úhel nebylo možné změřit, protože paprsek bylo možné zachytit téměř kdekoli (měření bylo provedeno na chodbě UREL). Oboustranná deska plošných spojů je nakreslena ručně, jedná se pouze o prototyp pro účel testování dosahu LED. Schéma prototypu je uvedeno v příloze A.13. Důležité části programu (upravené jsou použity v prototypu zbraňového systému) jsou popsány dále. Program odesílá předem naprogramované sekvence o délce 32bitů. Příklad takové modulované sekvence

zachycené pomocí osciloskopu je na obrázku 1.7.



Obr. 1.7: Příklad sekvence modulovaných dat vyslaných pomocí IR LED.

Právě odeslaná sekvence se zobrazí v hexadecimálním kódu na displeji. Modulační kmitočet, na kterém je vysílán kód, je 38 kHz. Následující část programu je obsluha přerušení od čítačů/časovačů. Globální proměnné `inter` a `prerus` jsou typu `uint8_t`.

```
ISR( TIMER0_COMP_vect ) /*generuje nosný kmitočet 38kHz na pin OC0*/
{
    if (inter==0)
    {
        inter=1; /*stav IR LEDky*/
        ION;      /*zapnout IR LED*/
    }
    else
    {
        inter=0; /*stav IR LEDky*/
        IROFF;   /*vypnout IR LED*/
    }
}

ISR( TIMER1_COMPA_vect )
{
    TCCR1B = 0b00001000; /*zastavit čítače*/
    TCCR0 = 0b00001000;
    IROFF; /*vypnout IR LED*/
    inter=0;
    TCNT0 = 0; /*vynulovat čítače*/
    TCNT1 = 0;
    prerus=0; /*vyvolat reakci v hlavním programu*/
}
```

Důležitou částí programu je vysílání sekvence. To provádí podprogram `vyslat`. Vstupní číslo je vyslano. Délka jednotlivých bitů se nastavuje hodnotou čítače.

```
void vyslat(uint32_t vyslane)
{
    uint8_t pocetbitu;
    uint32_t kopie = vyslane; /*kopie vysílané sekvence*/
    uint32_t maska = 0x80000000;
    uint32_t zprac;
    /*start vysílání*/
}
```

```

OCR0 = 131;           /*kmitočet nosné 38kHz*/
OCR1A = 1313;         /*impulz dlouhý 8,4ms -> start*/
TCCR1B = 0b00001011; /*zapnout čítače*/
TCCR0 = 0b00001001;

prerus=1;             /*nastavit příznak*/
while(prerus==1);     /*cekej nastavenou dobu impulzu*/
IROFF;               /*IR LED ve spínacím režimu -> vypnout LED*/
OCR1A = 656;          /*mezera dlouhá 4,2ms*/
TCCR1B = 0b00001011; /*zapnout čítač nastavení délky impulzu*/
prerus=1;
while(prerus==1);     /*cekej nastavenou dobu mezery*/
IROFF;
/*bit navíc - byl již naprogramován v přijímači - přijímač vznikl
dříve než vysílač*/
/*vyšli logickou 1 */
OCR1A = 82;           /*impulz cca.0,52ms*/
TCCR1B = 0b00001011;
TCCR0 = 0b00001001;
prerus=1;
while(prerus==1);
IROFF;
OCR1A = 257;          /*mezera 1,65ms*/
TCCR1B = 0b00001011;
prerus=1;
while(prerus==1);
IROFF;

zprac = kopie & maska;
/*do zprac je uložen nejvyšší bit z vysílané sekvence*/
for (pocetbitu=0;pocetbitu<=33;pocetbitu++)
/*zpracování vysílané sekvence bit po bitu pomocí rotace masky*/
{
    if (zprac == 0)
    {
        /*sekvence pro log.0*/
        OCR1A = 82;
        TCCR1B = 0b00001011;
        TCCR0 = 0b00001001;
        prerus=1;
        while(prerus==1);
        IROFF;
        OCR1A = 82;
        TCCR1B = 0b00001011;
        prerus=1;
        while(prerus==1);
        IROFF;
    }
    else
    {
        /*sekvence pro log.1*/
        OCR1A = 82;
        TCCR1B = 0b00001011;
        TCCR0 = 0b00001001;
        prerus=1;
        while(prerus==1);
        IROFF;
        OCR1A = 257;
        TCCR1B = 0b00001011;
        prerus=1;
        while(prerus==1);
        IROFF;
    }
}

```



```

    }
    kopie=kopie<<1;
    zprac = kopie & maska;
    /*rotace masky a její aplikace na vysílanou sekvenci*/
  }//for
} //void
// konec výpisu

```

Program kóduje logickou úroveň do délky impulsu vysílaného IR LED. Použitý mikrokontrolér je ATmega16, který funguje na hodinové frekvenci 10.0 MHz.

1.4 Přenos dat pomocí laseru

Vyzařovací úhel infračervených diod je velký a proto musí být pro zaostření na cíl použita optika (čočka) a i přesto dochází k velkému rozptylu vyzařované záření. Při použití infračerveného laseru by byl paprsek velmi úzký a bylo by možno jej snadněji rozšířit rozptylkou. Pokud by se laserový paprsek nerozptýlil, musela by být vesta pokryta mnohem více čidly pro detekci. A to by výrazně zvýšilo ekonomické náklady. Taková přesnost také není nutná. Při použití laseru v neviditelné části spektra je ovšem nebezpečí poškození očí, neboť nepomůže ani tzv. mrkací efekt. Výkon laseru musí být nízký, maximálně kolem 1 mW. Výhodou použití laseru je v poskytnutí velkého dosahu zbraně.

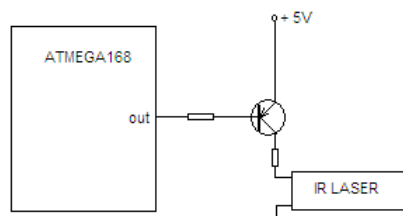
1.4.1 Modulace laserového paprsku

Pro test byl vybrán laserový modul M850D1 (obr. 1.8) o výstupním výkonu 1mW a vlnové délce 850 nm. Napájecí napětí je 3 až 6 V.



Obr. 1.8: Infračervený laser M850D1. Převzato z [14].

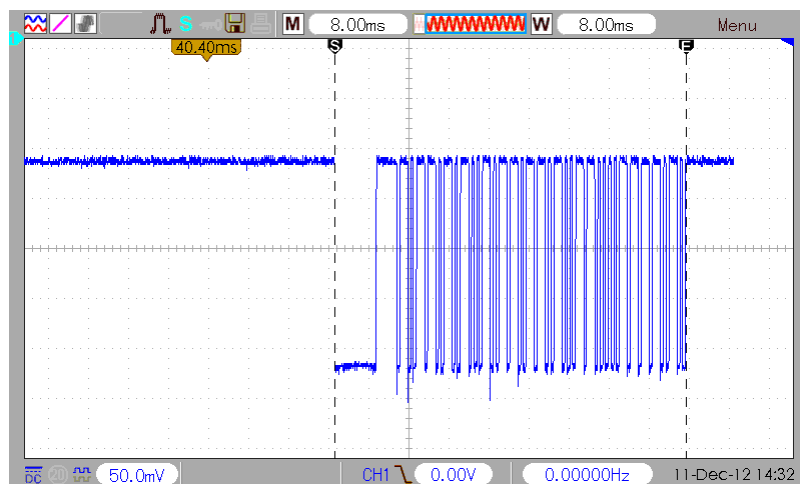
Připojení laseru k mikrokontroléru je naznačeno na obrázku 1.9. Laser je zde řízen napětím.



Obr. 1.9: Blokové schéma připojení laseru k MCU.

Výstupem MCU (out) je modulovaný signál jako na obr. 1.7 v předchozím textu,

kde je zobrazen průběh vysílaný MCU infračervenou diodou. Takto zachycený signál je IR detektorem TSOP4838 v pořádku demodulován. Při použití laseru bylo ovšem zjištěno, že v tomto zapojení laser není schopen zpracovat nosný kmitočet 38 kHz a proto nemůže být laserem vyslaný signál správně nemodulován. Jeden z naměřených průběhů vysílaného signálu je na obr. 1.9. Signál byl zachycen fotodiodou PIN typu SFH213 [15]. Další naměřené časové průběhy jsou v příloze B.

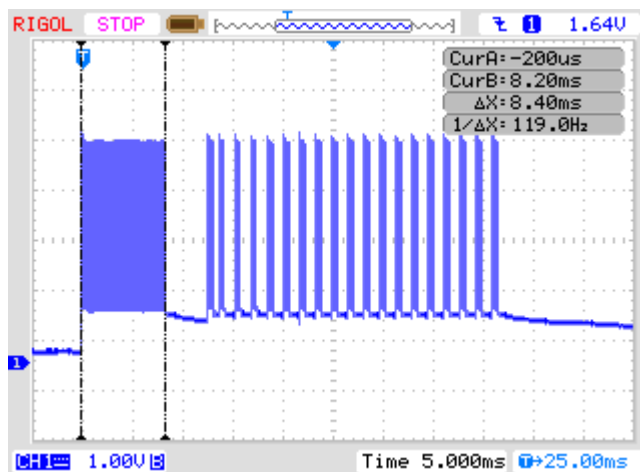


Obr. 1.10: Naměřený časový průběh na fotodiodě.

Průběh na obrázku 1.10 invertovaný oproti průběhu na obrázku 1.7. To je dáno připojením fotodiody přímo na sondu osciloskopu. Laser určitě v klidovém stavu neemitoval záření. V průběhu zcela chybí nosný kmitočet 38kHz, v detailnějších zobrazení je pak vidět větší zaoblení vzestupných a sestupných hran. Existuje tedy určitý kmitočet, který již takto nelze přes laserový modul přenést v tomto zapojení. Tento kmitočet by mohl být dostatečný pro přenesení informace tak, že by nebyl použit nosný kmitočet a přenos dat by byl uskutečněn pouhým vypínáním a zapínáním laseru. Pro detekci signálu by tak byla dostačující infračervená fotodioda. Časové okamžiky a délky posloupností jsou předem známy. Vysílaná data na obrázcích nejsou v tento okamžik podstatná. Pro zbraňový systém však musí být použit nosný kmitočet, aby odlišil platný signál od rušivých signálů. Bylo by nutné použít takový laser nebo způsob modulace, aby mohla být data správně přenesena.

1.5 Detekce zásahu

Detekce zásahu je provedena infračerveným přijímačem a pomocí mikrokontroléru se dekódují data z výstřelu zbraňové jednotky. Výstřel je tvořen modulovaným infračerveným paprskem, nosná frekvence je 38 kHz. Na obrázku 1.11 je popis testovací datové komunikace (zde pouze datových 16bitů).



Obr. 1.11: Zachycená datová posloupnost vyslaná pomocí infračervené diody pomocí osciloskopu.

Komunikace začíná vysláním úvodní sekvence trvající 8,4 ms potom je 4 ms pomlka. Následuje užitečná informace, která je zakódována do šířky impulsu. Podobný protokol používají například některé dálkové ovladače, proto je vhodný pro testovací procesy a ověření správnosti naprogramovaného algoritmu.

V testovací verzi je odvysíláno 24 bitů. Přidaný byte bude sloužit jako kontrolní byte, jehož hodnota je výsledkem operace XOR dvou předchozích bytů. V tabulce 1.2 je význam každého bytu.

Byte	Funkce	Příklad
První byte	číslo hráče	hráč č. 25
Druhý byte	zvolená konstanta	např. 85
Třetí byte	výsledek operace XOR	76

Tabulka č. 1.2: Funkce přenášených bytů.

Operace XOR je vyjádřena v tabulce 1.3:

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabulka č. 1.3: Pravdivostní tabulky operace XOR.

Protože jde o byty, rozsah každé hodnoty je 0 až 255. Výsledek operace (1) XOR v příkladu v tabulce 1.1 je:

$$25_{10} \text{ XOR } 85_{10} = 76_{10}$$

binárně:

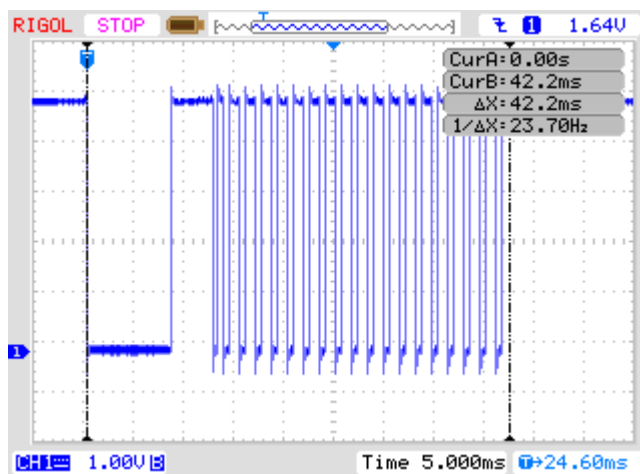
$$00011001_2 \text{ XOR } 01010101_2 = 01001100_2 \quad (1)$$

Operace XOR je zde z důvodu ověření platnosti přenesených bitů. Pokud se vyskytne jedna chyba v přenesených bitech, bude číslo hráče prohlášeno za neplatné. Během výstřelu se však sekvence přenesne vícekrát, proto je velmi pravděpodobné, že dojde ke správnému příjmu dat. Při výskytu více než jedné chyby může nastat situace, že číslo hráče je prohlášeno za platné. Toto lze částečně ošetřit porovnáním ostatních sekvencí, které byly přijaty během téhož výstřelu.

Na každém modulech jsou čidla pro detekce zásahu TSOP4838 [18] na obr. 1.12, jehož výstupem je již demodulovaný signál jako na obr. 1.13 (odstraněna nosná složka o frekvenci 38 kHz).



Obr. 1.12: Čidlo TSOP4838.



Obr. 1.13: Signál na výstupu z infračerveného přijímače TSOP4838.

Tento signál je přiveden na vstup vnějšího přerušení mikrokontroléru, kde je pomocí čítače/časovače měřena délka jednotlivých bitů a tím identifikována hodnota 1 nebo 0. Ke kontroléru je připojen externí krystalový oscilátor na kmitočtu 16 MHz zaručující stabilní kmitočet (stabilnější než v případě vnitřního RC oscilátoru). Napájecí napětí IR přijímače je 5 V. Při výstřelu ze zbraně pomocí infračervené diody se vyšle identifikační číslo střelce, které se přijme infračerveným detektorem zasažené osoby. Master sériové linky RS-485 (zbraňová jednotka) se musí neustále dotazovat jednotlivých modulů, zda se nezměnil jejich stav a nedošlo k příjmu ID střelce. V případě, že došlo k příjmu ID, pak je odesláno do zbraňové jednotky k vyhodnocení zásahu.

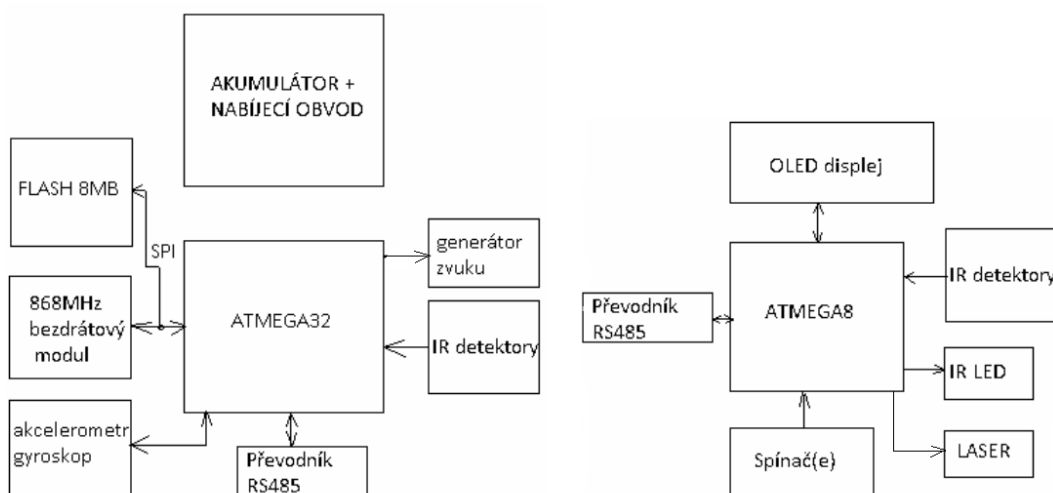
1.6 Prvotní návrh

Na vestě jsou umístěny desky plošných spojů (moduly detekce zásahu) s ATmega88 [1]. Jak taková vesta a zbraň přibližně vypadá, můžete vidět na obr. 1.14. Původní vesta je tvořena masivnějším plastem, IR senzory jsou umístěny vepředu, vzadu, na ramenou a také v hlavní zbraně.



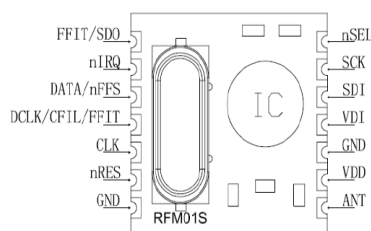
Obr. 1.14: Přibližná podoba vesty používané pro hru lasertag.

Modul na hrudi vesty sbírá informace z připojených čidel a jiných připojených jednotek a posílá je přes RF modul k ostatním hráčům a také počítači, který zaznamenává výsledky hry. Zbraň je v původním zařízení připojena pomocí vícežilového kabelu a není v ní žádná elektronika (žádný kontrolér) kromě LED, infračidla, laseru a spínačů, vše je ovládáno ze zařízení na hrudi (obr. 1.13). Bloková schémata prvotního návrhu jsou na obrázku 1.15. K mikrokontroléru ATmega32 je přes SPI připojen bezdrátový modul 868MHz, IR detektory, pomocí I²C je připojen akcelerometr a také je zde připojen převodník RS-485 pro připojení modulů s čidly a zbraně.



Obr. 1.15: Původní bloková schémata zbraňového modulu a modulu zásahu.

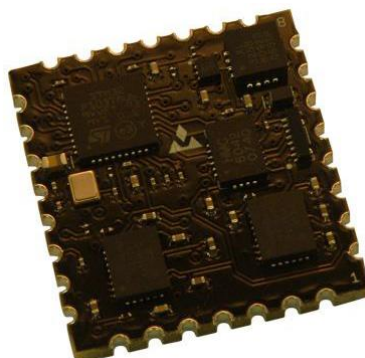
Displej je na původní vestě umístěn na hrudi na desce plošného spoje pohledově směrem k hlavě. Toto umístění se ukazuje jako nepraktické, protože málokterý hráč displej ve skutečnosti sleduje, neboť aby se na něj mohl podívat, musí hráč hodně předklonit hlavu, navíc displej neustále svítí, což je rušivé. Umístění na zbrani vede k lepší čitelnosti displeje, možnosti vypínání displeje (displej by se dal aktivovat na zbrani jen v případě potřeby) a použití OLED displeje vede k nižší spotřebě energie. Jako bezdrátový komunikační modul mohl být použit RFM01 [2] jako na obr 1.16. K MCU se připojuje pomocí SPI, maximální přenosová rychlost s ostatními moduly na frekvenci 868MHz je 115,2 kb/s a má nízkou spotřebu. Rychlost přenosu dat je dostatečná pro posílání informací mezi vestami a PC.



Obr. 1.16: Rozmístění vývodů komunikačního modulu, převzato z [2].

Akcelerometr mohl být tvořen obvodem LIS35 [3], což je tříosý akcelerometr s analogovým výstupem, takže by musel být připojen na AD převodníky MCU. Výhodou je nízká cena a miniaturnost, drobnou nevýhodou je jeho pouzdro (vývody zespod), k dispozici je i layout pro Eagle. Prodává se také modul s tímto senzorem s digitálními výstupy I²C a SPI, který je na testy vhodnější.

Jiným zajímavým modulem je VN-100 [4]. Modul se připojuje přes SPI nebo UART, obsahuje tříosý akcelerometr, gyroskop a magnetický senzor. Výhodou je mnoho věcí v jednom, modul je kalibrovaný, snadno připojitelný a je malý. Výhoda je také v úspoře času při implementaci na rozdíl od obvodu LIS35. Rychlost přenosu dat přes UART je až 921,6kb/s a probíhá ve formátu ASCII textu. Registry s daty jsou obnovovány každých 5ms. Nevýhodou je být cena, která je 500\$ za kus za nejnižší verzi určenou pro povrchovou montáž, jako na obr.1.17.



Obr. 1.17: Modul VN-100 určený pro povrchovou montáž (převzato z [4]).

Na hlavním modulu je převodník na RS-485 a infračervená čidla, které jsou

zmíněné dále. Pro generování zvuků lze použít PWM s dolní propustí nebo externí DA převodník. K MCU bude připojena přes SPI datová paměť typu FLASH [5] o velikosti 8MB pro uložení zejména zvukového doprovodu, například při zásahu. Na hlavním modulu budou též RGB LED v provedení pro povrchovou montáž, jejichž hlavním úkolem bude rozlišení týmů a také různé blikání při zásahu a jiných akcích.

1.7 Nový návrh

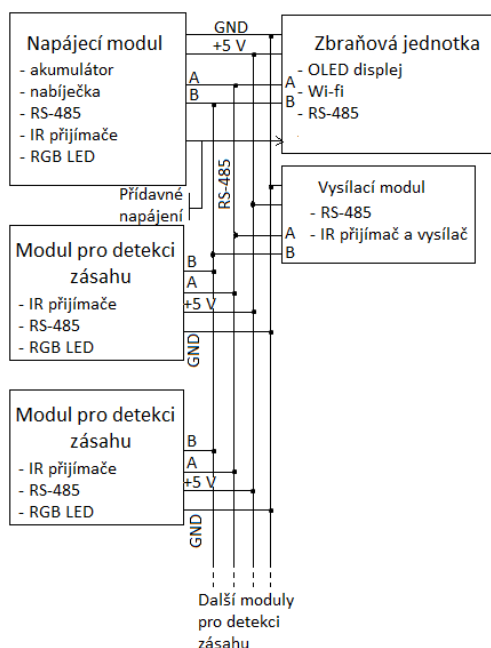
Rozmístění senzorů na prototypu vesty zůstává stejné. Rozdílem je umístění zbraňové jednotky do tělesa zbraně, nikoli na hrudi jako na obrázku 1.14. Postupným vývojem se zjistilo, že pro přenos dat mezi vestami nebo počítačem s databází hráčů je lepší použít Wi-fi rozhraní. Generování zvuků je prozatím vypuštěno, ale bude pravděpodobně provedeno samostatným modulem připojeného na sériovou linku RS-485. Změnilo se také rozmístění některých prvků na modulech. Popis posledního prototypového návrhu je v kapitole 2.

2 MODULY ZBRAŇOVÉHO SYSTÉMU

Systém umístěný na vestě a zbrani je tvořen čtyřmi různými moduly:

- napájecím modulem,
- modul pro detekci zásahu,
- zbraňovou jednotkou,
- vysílacím modulem.

Všechny moduly jsou propojeny pomocí sériové linky RS-485 podle obrázku 2.1. Spolu s vodiči sériové linky je vedeno i napájení modulů + 5V a společný vodič GND.

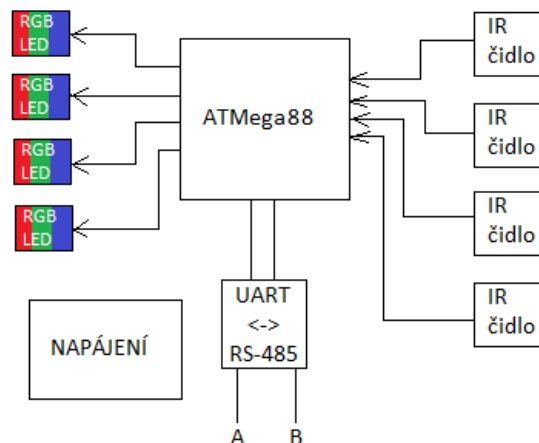


Obr. 2.1: Blokové schéma propojení modulů.

Modul ve zbrani je v testovací verzi rozdělen na modul s wifi a modul s vysílací LED spolu s přijímacím čidlem, který je umístěné v hlavní zbraně a je též připojen na sériovou linku RS-485. V jedné prototypové testovací sestavě je přítomna jedna zbraňová jednotka, jeden napájecí modul a dva moduly pro detekci zásahu.

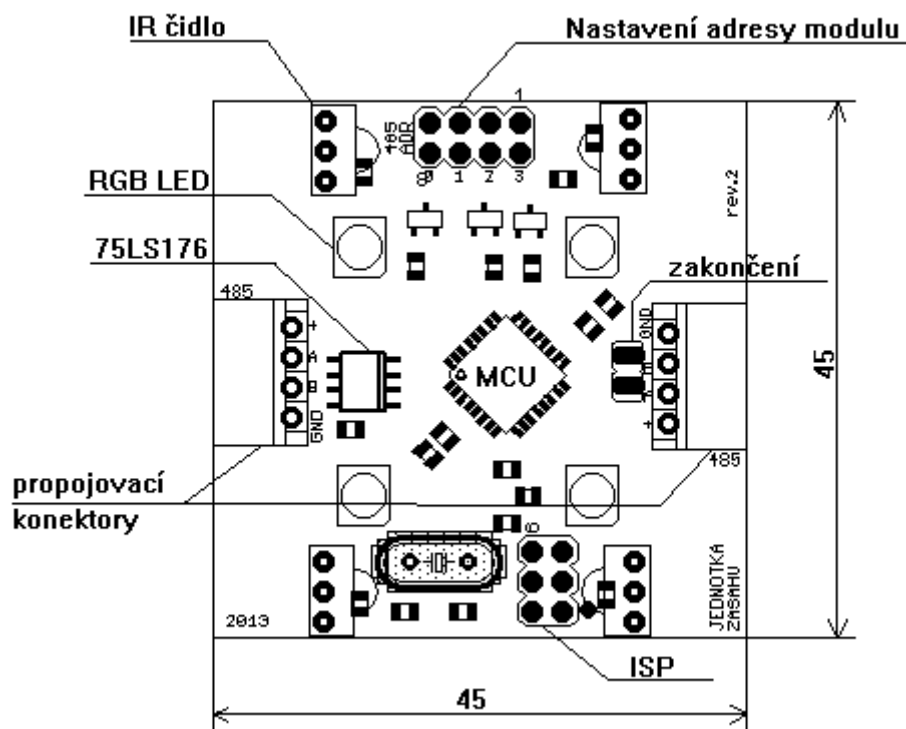
2.1 Jednotka zásahu

Jednotka zásahu slouží k detekci zásahu pomocí čtyř infračervených čidel umístěných v rozích modulu a zobrazováním informací o módech hry či jiných informací pomocí čtyř RGB LED. Blokové schéma je na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Blokové schéma jednotky zásahu.

Rozvržení umístění infračervených čidel je provedeno tak, aby byly co nejdále od sebe a zvýší se tak pravděpodobnost zachycení signálu zásahu. Vyobrazení rozmístění prvků jednotky zásahu je na obrázku 2.3. V přibližném středu modulu zásahu je mikrokontrolér ATMEGA88, jehož taktovací kmitočet 16 MHz je dán krystalem. Přítomen také musí být převodník úrovní 75ALS176. Propojovací konektory zahrnují napájení +5V i datové vodiče A a B. Oba konektory jsou spojeny paralelně pro propojení s dalšími moduly. Na modulu může být zakončena linka RS-485 pomocí zakončovací propojky. Celé schéma je zobrazeno v příloze A.1. Pro nastavení adresy modulu je zde umístěn 8pinový konektor označený jako 485ADR.



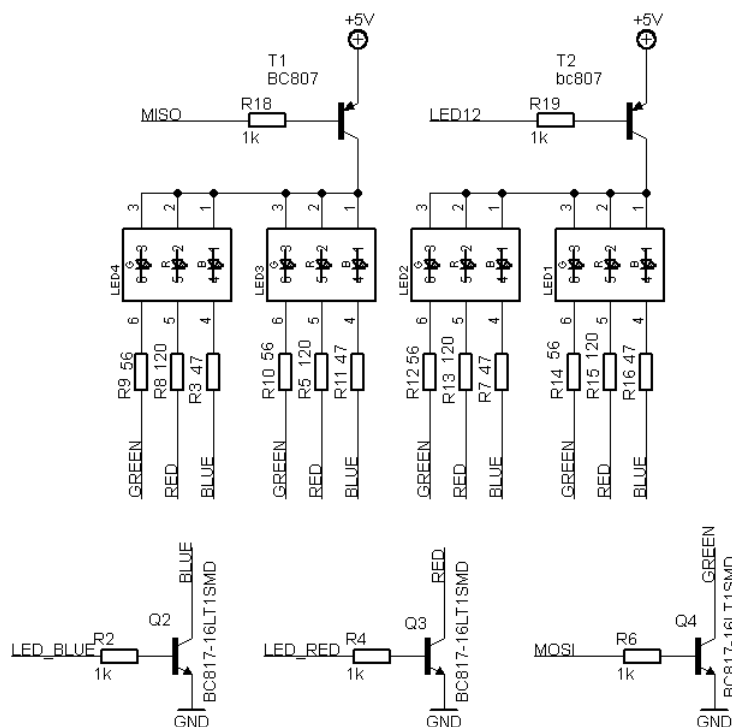
Obr. 2.3: Popis hlavních součástí modulu zásahu.

LED jsou v pouzdře PLCC6 jako na obrázku 2.4. V každém pouzdře jsou 3 LED se samostatně vyvedenými vývody. Lze si pak zvolit, jak budou jednotlivé svítící diody zapojené.



Obr. 2.4: RGB LED v pouzdře PLCC6 (převzato z [21]).

Bylo zvoleno zapojení zobrazené obrázkem 2.5. Diody jsou sice zapojeny se společnou anodou, ale tak, že pomocí tranzistoru PNP BC807 [16] se sepne dvojice LED. Katody všech diod společné barvy (červené s červenými, modré s modrými a zelené se zelenými diodami) jsou pospojovány a spínány tranzistory NPN BC817 [6]. Tímto uspořádáním lze vybrat, jaká barva na jaké dvojici LED bude svítit v jednom okamžiku. Navíc pro případnou změnu jasu či jiné funkce jsou báze tranzistorů BC817 připojeny na vývody MCU obsahující alternativní funkce – výstupy z čítačů umožňující tvorbu PWM nebo pro různé blikání řízené čítačem.



Obr. 2.5: Zapojení svítících diod.

Na modulech je osazen typ HTLB4A [21]. Pro každou barvu LED (každá barva má jiný úbytek napětí) je vypočtena hodnota předřadného rezistoru pro proud 20mA na jednu LED. Spínací tranzistory mají kolektorový proud 100 mA. Na každý tranzistor jsou

Převodník úrovní 75ALS176 je připojen na jedinou asynchronní sériovou linku, kterou ATmega88 má (RXD a TXD, piny 30 a 31 na obrázku 2.6).

IC2

PC6(RESET/PCINT14) PC0(ADC0/PCINT8) 23 LED12

PC1(ADC1/PCINT9) 24 ADDR0

PC2(ADC2/PCINT10) 25 ADDR1

PC3(ADC3/PCINT11) 26 ADDR2

PC4(ADC4/SDA/PCINT12) 27 ADDR3

PC5(ADC5/SCL/PCINT13) 28

AD6 19

AD7 22

PB6(XTAL1/TOSC1/PCINT6) 23

PB7(XTAL2/TOSC2/PCINT7) 31

PD0(RXD/PCINT16) 32

PD1(TXD/PCINT17) 1

PD2(INT0/PCINT18) 2

PD3(INT1/OC2B/PCINT19) 9

PD4(T0CK/PCINT20) 10

PD5(T1/OC0B/PCINT21) 11

PD6(AIN0/OC0A/PCINT22) 12

PD7(AIN1/PCINT23) 13

PB0(ICP1/CLK0/PCINT0) 14

PB1(OC1A/PCINT1) 15

PB2(SS/OC1B/PCINT2) 16

PB3(MOSI/OC2A/PCINT3) 17

PB4(MISO/PCINT4) 18

PB5(SCK/PCINT5) 19

VCC 4

VCC 6

AVCC 18

AREF 20

AGND 21

GND 3

GND 5

GND

5V

RESET

4k7

29

7

8

16MHz

22p

22p

Q1

C10

C11

5V

1n

1n

100n

100n

C5

C4

C3

C2

C6

100n

SV1

6

5

3

1

RESET

SCK

MISO

MOSI

LED_RED

LED_BLUE

LED_GREEN

LED_YELLOW

ATMEGA48/88/168-AU

Signál MOSI je sdílen pro ovládání LED zelené barvy (zároveň je to výstup z čítače/časovače2 OC2A) a signál MISO je sdílený pro ovládání dvojice LED3-4. Jinak signály MISO a MOSI jsou připojené ke kontoru ISP a slouží k programování mikrkontroléru, z čehož vyplývá, že zelená LED na dvojici 3,4 bude během programování zeleně blikat podle aktuálních dat na MISO/MOSI. Samotný MCU je blokován čtyřmi kondenzátory s různou kapacitou. Na obrázku 2.6 je také vidět poměrně efektivní využití vývodů mikrkontroléru, protože zůstaly volné pouze dva (popř. 4 při využití signálu SCK a RESET). Existuje zde tedy malý prostor pro rozšíření funkcí modulu.

27

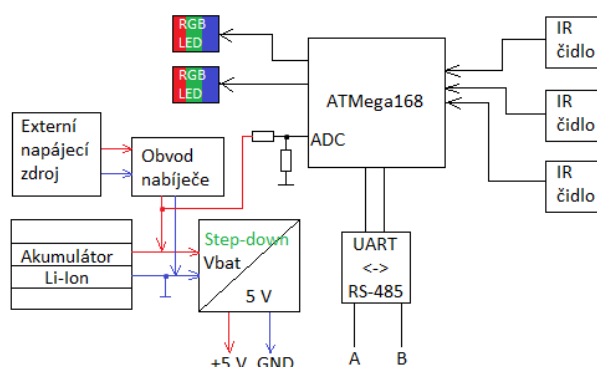


Obr. 2.7: Konektor SPOX (převzato z [30]).

Deska plošných spojů (DPS) (viz příloha A.2) je navržena jako oboustranná s prokvy. V návrhu DPS je kladen důraz kromě rozměru také na rozmístění čidel a LED. Rozpiska součástek je v příloze A.3. Maximální proudová spotřeba modulu je 272 mA v případě, kdy všechny LED svítí (svítí bíle), což je málo pravděpodobný případ.

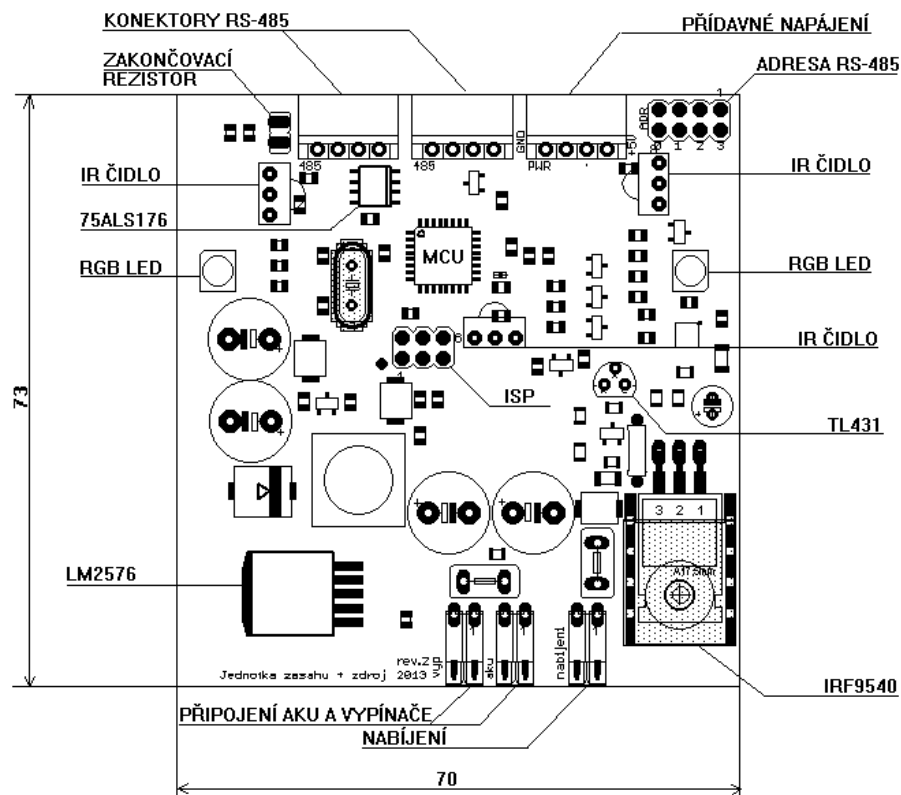
2.2 Napájecí modul

Modul pro napájení zbraňového systému obsahu prvky pro detekci zásahu, které jsou připojeny na stejné vývody mikrokontroléru pro zjednodušení programování, software je velice podobný softwaru na jednotce zásahu. Modul však navíc obsahuje nabíjecí obvod a step-down měnič. Blokové schéma je na obrázku 2.8.



Obr. 2.8: Blokové schéma napájecího modulu.

Vyobrazení rozmístění prvku na desce plošných spojů je na obrázku 2.9. Konektory pro propojení s okolím jsou umístěny po stranách, infračervené detektory nejsou umístěné hned u sebe, součástky potřebující odvod tepla jsou umístěny na okrajích DPS, aby okolní součástky nebyly zbytečně teplotně namáhány.



Obr. 2.9: Rozmístění prvků na DPS napájecího modulu.

Nabíjecí napětí je přivedeno na konektor NABÍJENÍ, za kterým je umístěna vratná polymerová pojistka a transil (transient voltage suppressor) chránící napájený obvod před napěťovými špičkami a proudovým přetížením. Následuje obvod pro nabíjení omezující maximální nabíjecí proud a definující nabíjecí napětí. Za tímto obvodem je přes vlastní vypínač a pojistku připojen akumulátor a také DC/DC step-down měnič s výstupním napětím 5 V. Před DC/DC měničem (tedy na přívod napájení od akumulátoru) je připojen napěťový dělič, jehož výstup chráněný transilem je připojen na A/D převodník MCU. Napájecí napětí 5 V napájí mikrokontrolér a ostatní součástky, které to vyžadují. Také je přivedeno na konektory RS-485 a na konektor přídatného napájení, který slouží jako rezerva pro napájení zbraňového modulu.

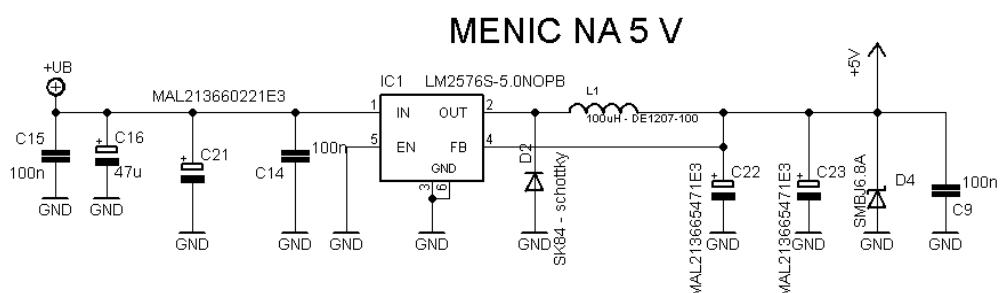
2.2.1 Napájení, akumulátor a jeho nabíjení

Napájení zbraňového systému je navrženo pro akumulátory Li-Ion. Jeden článek má obvykle jmenovité napětí 3,7 V, akumulátor je vybitý při napětí kolem 3,3 V, nabitý článek má napětí obvykle 4,2 až 4,25 V. Při nabíjení je potřeba dodržet zejména maximální možné napětí 4,25 V, při překročení tohoto napětí o desetinu voltu může dojít ke zničení článku. Pro napájení je použit akupack, např. CGR18650CG 2S2P [8] jako na obr. 2.10.

$$U_{BAT} = U_B \cdot \frac{R_{30}}{R_{29} + R_{30}} \quad (3)$$

kde I_D je proud děličem, U_B je napětí akumulátoru (baterie akumulátorů), U_{BAT} je výstupní napětí z děliče přivedené na AD převodník MCU.

Výstupní napětí U_{BAT} by mělo mít hodnotu poloviny napětí U_B při $R_1 = R_2 = 47 \text{ k}\Omega$. Za děličem je ovšem zapojený transil, který má při napětí 6,8 V reverzní proud 0,5 mA dle katalogového listu [7]. Dělič je proto zatížený a výstupní napětí z děliče je nižší, než u nezatíženého děliče. Zdroj energie pro nabíjení může být např. notebookový adaptér, který má jmenovité výstupní napětí 19 V DC. Napětí akumulátoru je přivedeno přes zmíněný odporový dělič na A/D převodník MCU ATmega88 pro měření napětí akumulátoru a tím zajistit např. usnutí všech zařízení a MCU a hlásit potřebu nabíjení, například blikáním LED. Pokud se toto zajistí např. při napětí 3,5 V na článek, stále zůstává dost energie na blikání LED v řádu několika dní do nabití akupacku a přitom výrazně reálná doba plného použití systému. Rychlost nabití akumulátoru je dána počtem článků v akumulátoru a jejich vnitřním pospojováním. Nabíjecí proud je obvykle dán hodnotou jedné desetiny kapacity akumulátoru. Proud odebíraný ze zdroje energie je v zapojení na obr. 2.11 dán hodnotou rezistoru R28. Jeho hodnota (2,2 Ω) na prototypu modulu je experimentální, protože zatím není známa kapacita akumulátoru. S pokusným akumulátorem o kapacitě 2200 mAh byl naměřen proud ze zdroje nabíjecího napětí (laboratorní zdroj) o hodnotě 210 mA, proudová spotřeba modulu při rozsvícených dvou LED je 60 mA, takže nabíjecí proud je 210 – 60 = 150 mA. Napětí z akupacku je pomocí step-down měniče napětí sníženo 5 V pomocí integrovaného obvodu LM2576. Zapojení obvodu na obrázku 2.12 je podle doporučení dle katalogového listu výrobce obvodu LM2576 [11]. Jedná se o typické zapojení. Elektrolytické kondenzátory jsou low ESR (se sníženým sériovým odporem) a co možná nejvyšším tzv. ripple current I_R . Vybrán byl typ MAL213665471E3 a MAL213660221E3 od firmy VISHAY, jejichž základní parametry jsou v tabulce 2.1 a katalogový list je v [12].



Obr. 2.12: Schéma měniče napětí na 5 V.

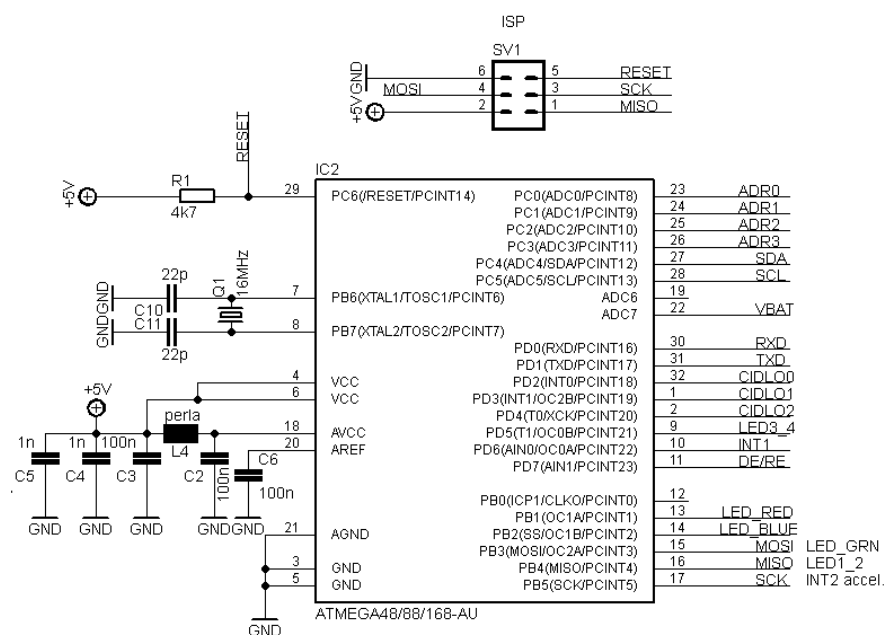
Typové označení	Kapacita	Ripple Current I_R	Max. napětí
	[μF]	[mA]	[V]
MAL213665471E3	470	830	16
MAL213660221E3	220	830	35

Tabulka č. 2.1: Důležité parametry kondenzátorů firmy VISHAY.

Ripple current obvykle roste s kapacitou kondenzátoru a také s maximálním provozním napětím. Kondenzátor o kapacitě 220 μF na napětí 16 V bude mít menší I_R než ten samý kondenzátor na napětí 35 V. Měnič má podle katalogového listu účinnost 75% při vstupním napětí 12 V a proudovým odběrem 3 A. Maximální proudový odběr z měniče je sice 3 A, ale maximální proud tekoucí do zátěže je 2,1 A, protože takový je maximální proud tlumivkou DL1207 – 100 [13] před jejím nasycením. Za měničem je transil D4, který zamezí přepětí v napájeném obvodu. Integrovaný obvod měniče je v pětipinovém pouzdře DPAK v provedení SMT, jako chladič je pro odvedení ztrátového tepla je použita měděná plocha TOP strany desky plošných spojů.

2.2.2 Řízení napájecího modulu, akcelerometr

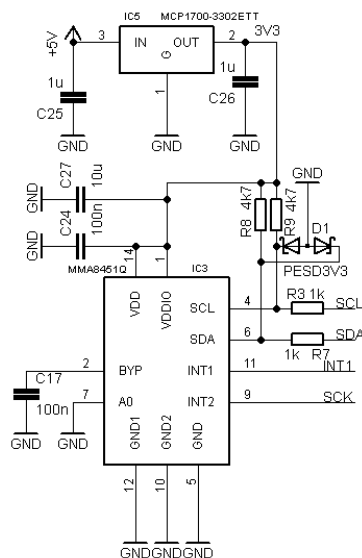
O chod modulu se stará MCU ATmega88 v pouzdře TQFP32. Jeho taktovací kmitočet 16 MHz je dán krystalem. Je vybaven A/D převodníkem pro měření napětí z akumulátorů, externím přerušením pro příjem dat z infračervených čidel (zásah) a také je vybaven dvěma RGB LEDkami v pouzdře PLCC6. Přes sériovou linku I2C je připojen akcelerometr od firmy Freescale. Programování MCU se provádí přes rozhraní ISP (In System Programming). Zapojení mikrokontroléru je na obr. 2.13.



Obr. 2.13: Obvodové zapojení mikrokontroléru na napájecím modulu.

Na vývody mikrokontroléru jsou připojena tři infračervená čidla TSOP4838 (na jednotce zásahu jsou 4), ubylo světivých diod HTLB4A ze čtyř na dvě, ovšem bez vlivu na softwarové vybavení – připojení diod ke MCU je stejné jako na jednotce zásahu. Měřené napětí akumulátoru je přivedeno na vstup ADC7. Referenční napětí pro A/D převodník se předpokládá napětí AVCC, tj. prakticky napájecí napětí mikrokontroléru (5 V). Referenční napětí se volí pomocí nastavení bitů ve speciálním funkčním registru MCU AVR. Na sériovou linku UART (vývody RXD, TXD) je opět připojen převodník úrovně 75ALS176 na sér. linku RS-485. Na napájecím modulu je přítomen tříosý akcelerometr MMA8451Q [22], který má sloužit pro počítání kroků hráče. Zapojení

akcelerometru je na obrázku 2.14.

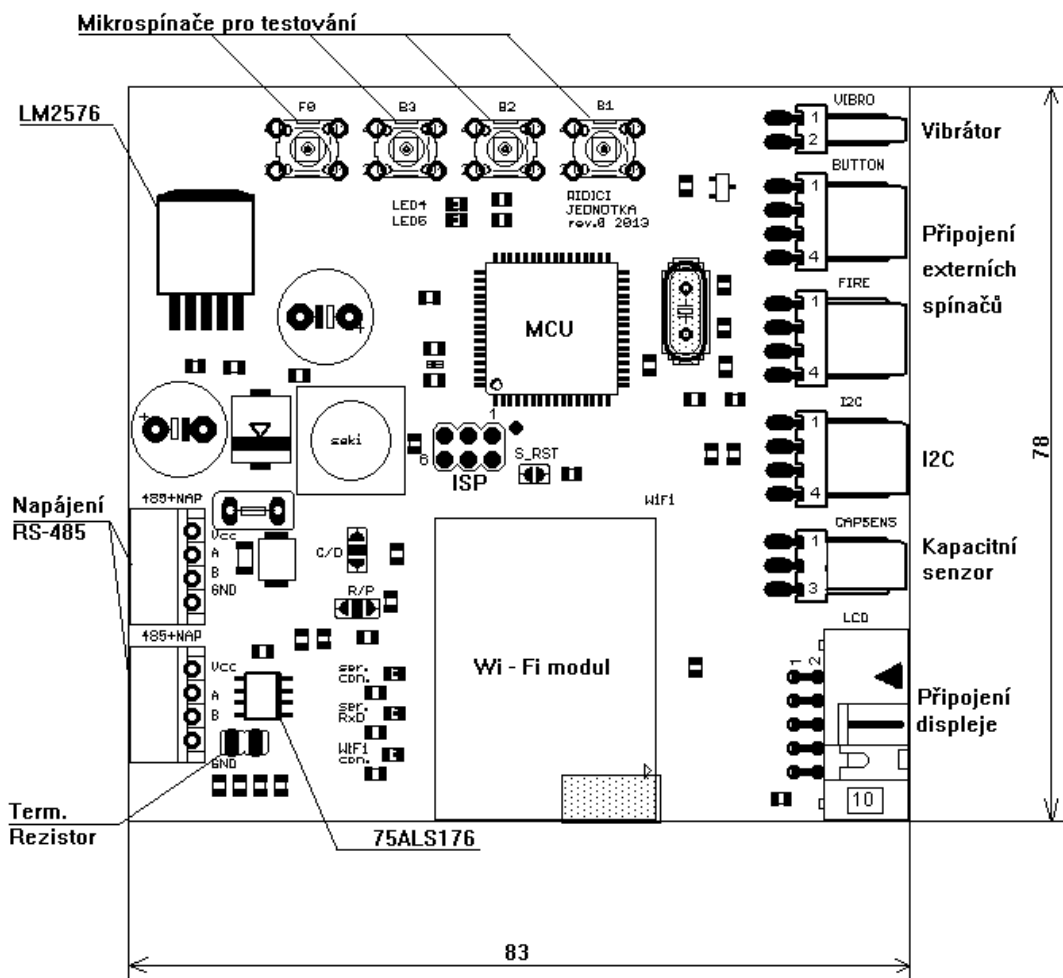


Obr. 2.14: Elektrické zapojení akcelerometru.

Rozsah měřeného zrychlení je volitelný, je to ± 2 g, ± 4 g nebo ± 8 g. Elektrické zapojení je dle katalogového listu [22] výrobce integrovaného obvodu. Napájecí napětí obvodu je 3,3 V a je zajištěno LDO (Low Drop Output) stabilizátorem MCP1700-3302 [23]. Jeho maximální vstupní napětí je 6 V, maximální výstupní proud 250 mA. Na datový vodičích jsou připojeny pull-up rezistory R8, R9 a rezistory R3 a R7, které spolu s transilem PESD3V3 [24] plní ochranou funkci, protože, jde o spojení 3,3 V a 5 V logických obvodů. Pokud probíhá komunikace ve směru od MCU k akcelerometru, napětí logické 1 na výstupu MCU (téměř napájecí napětí 5V) je sníženo transilem na 3,3 V. Rezistor v sérii mezi MCU a akcelerometrem omezuje proud, který teče přes transil D1. Při komunikaci od akcelerometru do MCU je výstupní napětí menší než 3,3 V a transil D1 zůstává neaktivní. Akcelerometr má 14bitové rozlišení, napájecí napětí v rozsahu 1,95 až 3,6 V, maximální proudová spotřeba je 165 μ A. Prodává se v pouzdře QFN16 (3 x 3 x 1 mm), jeho knihovna do programu EAGLE byla vytvořena v rámci diplomové práce a je v přílohách.

2.3 Zbraňová jednotka

Modul zbraňové jednotky upravuje informace z vesty, které pomocí Wi-Fi odesílá mimo vestu do počítače, kde se zpracovávají data ze všech vest, které jsou součástí hry. Rozměry modulu jsou 83 x 78 mm a rozmístění součástek je vidět na obrázku 2.15. Schéma jednotky je v příloze A.7, obrazce desky plošných spojů a rozpiska součástek jsou v přílohách A.8 a A.9.



Obr. 2.15: Rozmístění součástek na desce plošného spoje zbraňového modulu.

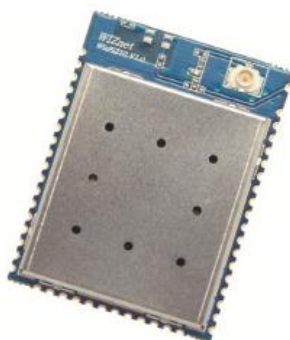
Jednotka je vybavena mikrokontrolérem AVR ATmega128 [26], který v pouzdře TQFP64 obsahuje 128 kB programové paměti FLASH, 4 kB SRAM (Static Random Access Memory) a 4 kB EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) a jeho taktovací kmitočet 16 MHz je dán krystalem. Tento mikrokontrolér obsahuje mimo jiné dvě sériové linky UART, z nichž jedna je využita pro RS-485 a druhá je pro Wi-Fi modul. Na jednotce je dominantní Wi-Fi modul ve spodní části obrázku 2.15, integrovaný obvod u středu desky plošných spojů je ATmega128, u níž je programovací konektor ISP. Napájecí napětí MCU je v tomto případě 3,3 V. V levém rohu je DC/DC měnič z 5 V na 3,3 V. Rozmístění konektorů pro připojení periférií je po stranách DPS pro snadný přístup a mikrospínače jsou umístěné také na okraji DPS. Modul je napojený na RS-485, ve které se chová jako MASTER, zbraňová jednotka řídí komunikaci s ostatními moduly či jednotkami. Čtyři mikrospínače jsou paralelně připojena na konektor (Připojení externích spínačů) a slouží zejména pro testování software. Alespoň jeden spínač má sloužit pro zahájení palby, jiné např. pro procházení položek na displeji. Jejich funkce je softwarovou záležitostí. I2C konektor slouží pro případné rozšíření pro přidání nové funkce externím modulem. Místo spínače může být použit také kapacitní snímač, pro který je vyveden 3-pinový konektor.

2.3.1 Wi-Fi modul

Osazen je modul WizFi220 [25], který nabízí relativně rychlý a snadný způsob, jak přidat připojení k bezdrátové síti například k 8-bitovým mikrokontrolérům AVR, se kterým je propojen asynchronní sériovou linkou UART. K 49 vývodovému modulu na obrázku 2.16 je potřeba přivést napájení 3,3 V, UART a signál reset. Maximální rychlost komunikace přes Wi-Fi je 11 Mb/s (802.11b). Některé vlastnosti modulu jsou shrnuty v tabulce 2.2.

Funkce	Popis
Wi-Fi protokol	IEEE 802b/g/n kompatibilní
Podporovaná přenosová rychlost	11, 5.5, 2, 1 Mb/s (802.11b)
Modulace	DSSS a CCK
RF frekvence	2.4 až 2.497 GHz
Anténa	Interní nebo externí
Síťový protokol	UDP, TCP/IP, ARP a další
Spotřeba	režim vysílání 250 mA
	režim příjem 125 mA
	režim standby 35 μ A
Výstupní výkon	17 \pm 1.5 dBm
Zabezpečení	WEP, WPA/WPA2-PSK a jiné
Možnosti připojení	UART, SPI, I2C, WAKE,
	ALARM, GPIO
Napájecí napětí	3,3 V
Rozměry	32 x 23.5 x 3mm

Tabulka č. 2.2: Vybrané vlastnosti modulu WizFi220 (hodnoty převzaty z [25]).



Obr. 2.16: Wi-Fi modul WizFi220 (převzato z [25]).

Dále jsou k modulu připojeny propojky a signalizační LED. Elektrické zapojení modulu je na obrázku 2.17. Zapojení modulu je jednoduché. Spotřeba modulu v režimu Standby je jen 35 μ A (typicky), což je při napájení akumulátory výhodné. Nejvíce náročné na spotřebu energie je vysílání, kdy je maximální výstupní výkon 18,5 dBm (přibližně 70 mW).



Obr. 2.19: Modul s displejem z NOKIA 6100 (převzato z [28]).

Displej samotný má již vestavěný řadič a proto je možné k němu přistupovat pomocí SPI (Serial Peripheral Interface). SPI je sériová linka fungující na principu výměny obsahu registru jeho sériovým vyčítáním (načítáním) mezi dvěma zařízeními. SPI je implementována v MCU ATmega128, takže připojení displeje k mikrokontroléru je poměrně jednoduché. K řízení slouží ještě signály RESET, CS a signál pro řízení podsvícení displeje. Vypínání podsvícení displeje je důležité, protože hra laser game se hraje v temném prostředí a podsvícení displeje by pak působilo rušivě (prozrazovalo by to polohu hráče). Napájecí napětí displeje je 3,3 V, proudová spotřeba je 342 mA [28] se zapnutým podsvícením). Rozlišení displeje je 132 x 132 bodů, barevné podání je 12-bitové (čtyři bity pro každou barvu RGB).

2.3.3 Vibrace zbraně

Vibrace zbraně probíhají pomocí mikrovibračního motoru s nevyváženou hřídelí jako na obrázku 2.20. Podobné se používají v mobilních telefonech. Roztočením motoru jsou způsobovány vibrace. Umístění motoru ve zbrani se musí zjistit, na prototypu je motor pouze připojen pro otestování funkce. Spínán je pomocí tranzistoru IRLML2502, který je připojen na výstupní pin MCU ATmega128.

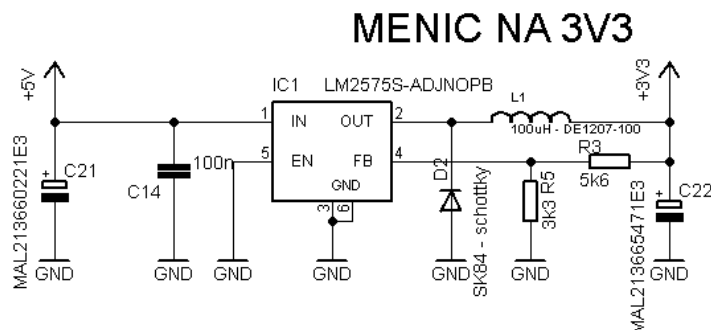


Obr. 2.20: Mikrovibrační motor.

2.3.4 Napájení zbraňové jednotky

Napájecí napětí 5 V je přivedeno z napájecího modulu přes konektor SPOX do zbraňové jednotky. Následuje polymerová pojistka o hodnotě 1 A a tranzistor plnící

ochrannou funkci pro přepětí. Protože se zbraňovém modulu nachází jak pětivoltové, tak třívoltové prvky, je zde další DC/DC měnič z 5 V na 3,3 V. ten je realizován pomocí integrovaného obvodu LM2575 [29] s nastavitelným výstupním napětím. Zapojení měniče je na obrázku 2.21.



Obr. 2.21: Schéma DC/DC měniče z 5 V na 3,3 V.

Zapojení je dle katalogového listu [29], stejně jako výpočet hodnot rezistorů R3 a R5 určujících výstupního napětí podle vztahu (3).

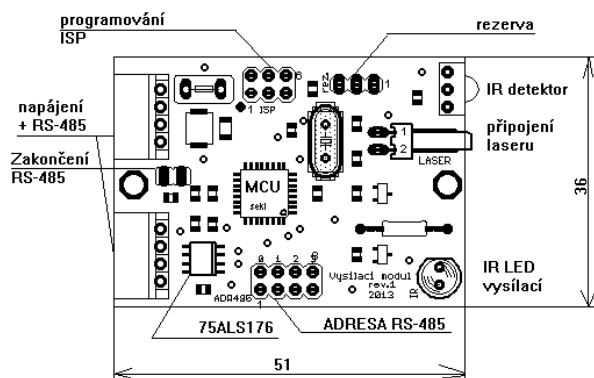
$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(\frac{R_3}{R_5} + 1 \right) \quad (4)$$

kde V_{out} je výstupní napětí, V_{ref} je referenční napětí (1,23 V), R_3 a R_5 jsou rezistory děliče. Rezistor R5 by měl mít hodnotu 1 až 5 kΩ dle [29].

Jsou osazeny kvalitní elektrolytické kondenzátory s nízkým sériovým odporem firmy Vishay [12] stejně jako v napájecím modulu. Účinnost měniče se pohybuje dle zatížení mezi 70 a 88 %.

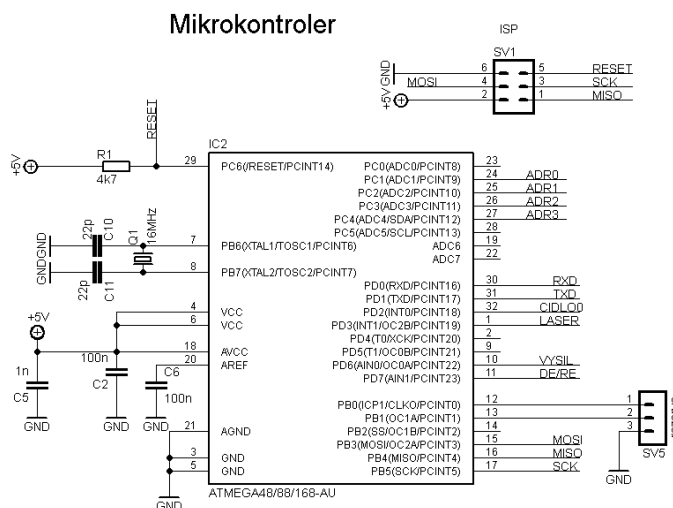
2.4 Vysílací modul

Vysílací modul obsahuje infračervenou LED diodu SFH4550 [20] a detektor, připojení pro laser a řídicí mikrokontrolér ATmega88 [1]. Modul je připojen ke společné sériové lince RS-485. Rozložení součástek je na obrázku 2.22. Čidlo a vysílací LED (a laser) jsou umístěny v hlavní zbraň, kterou simuluje vysílací modul na prototypu zbraňového systému. V další verzi zbraňového systému může dojít ke spojení zbraňového a vysílacího modulu v jeden modul, IR součástky a laser mohou být vyvedeny na vodičích a umístěny ve správných pozicích v hlavní zbraň. Laser je zde plní pouze zaměřovací funkci, nepřenáší se jím žádná data. Paprsek bude mít červenou barvu, ale předpokládá se použití i zeleného laseru pro lepší efekt a také rozlišení hráčů. Rozložení prvků na desce plošných spojů je zobrazeno na obrázku 2.22. Úplné schéma je v příloze A.10, rozpiska součástek a obrazce desek plošných spojů v příloze A.11 a A.12.



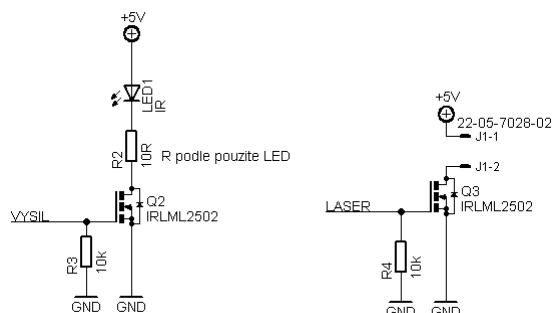
Obr. 2.22: Rozložení součástek na vysílacím modulu

Rozložení součástek je provedeno tak, aby na jedné straně desky plošných spojů byla čidla a LED a na druhé (levé) straně byly konektory. Uprostřed DPS je umístěn mikrokontrolér ve již klasickém zapojení na obrázku 2.23, využití vývodů zde není velké.



Obr. 2.23: Zapojení vývodů mikrokontroléru na vysílacím modulu.

MCU je taktován krystalem na frekvenci 16 MHz, blokován kondenzátory C5 a C2. Adresa modulu na sériové lince RS-485 se nastavuje na pinech PC1 až PC4, na sériovou linku UART (RXD, TXD) je připojen převodník úrovní na RS-485, řízení příjem/vysílání je řízen vývodem PD7 (DE/RE). Výstup infračerveného detektoru je připojena na PD1, kde je alternativní funkce vnějšího přerušení, které spustí vnitřní čítač/časovač pro měření délky impulsu. Laser je zapojen přes unipolární tranzistor IRLML2502 pracujícím ve spínacím režimu. Programování MCU probíhá pomocí rozhraní ISP. Připojení infračervené LED a laseru je na obrázku 2.24. Jsou použity unipolární tranzistory, protože mají velmi malý odpor D-S (drain-source) v sepnutém stavu.



Obr. 2.24: Elektrické zapojení infračervené LED a připojení laseru.

Vysílací IR LED SFH4550 má vyzařovací úhel pouze 3° [20] (minimální vyzařovací úhel je dán plochou polovodičového čipu, ze kterého je emitované záření, proto je obtížné vyrobit LED s velmi malým vyzařovacím úhlem), ale i přes to je tento vyzařovací úhel stále příliš velký pro použití ve zbraňovém systému. V další verzi prototypu mohou být v hlavní zbraň umístěny dvě IR LED, každá s jiným vyzařovacím úhlem pro různý dosah/rozptyl (použitelné např. ve funkci brokovnice). Gate tranzistorů je přizemněn, aby byly během programování v definovaném stavu (MCU je během programování držen v resetu a na portech nelze definovat logickou hodnotu). IR LED má pracovat v impulsním režimu, takže při střídě impulsů např. 1:10, kterými budíme LED, lze dosáhnout mnohem větší (10x) svítivosti LED, než by byla LED zapojena do trvalého provozu (např. 1,4 V, 20 mA). Vyzářený výkon za jednotku času musí být ovšem stejný (nebo menší), jinak hrozí zničení LED přehřátím (efektivní hodnota proudu, který teče LED, musí být stejná v impulsním i trvalém provozu). Při vývoji je předřadný rezistor R2 u IR LED nahrazen rezistorem o hodnotě $220\ \Omega$, aby LED nepracovala v impulsním režimu a nedošlo tak nedopatřením ke zničení LED. Napájení modulu +5 V je provedeno přes konektor SPOX společný také pro sériovou linku RS-485. Za konektorem je umístěna polymerová pojistka o hodnotě 1 A a ochranný transil jednosměrný SMBJ6.8A [7].

3 ZÁVĚR

Navržené desky plošných spojů slouží pro výrobu prototypu zbraňového modulu. Vyráběny jsou 2 prototypy, celkem tedy 10 kusů desek plošných spojů. Moduly jsou pospojovány pomocí sériové linky RS-485. Ve skutečnosti byly místo převodníků 75ALS176 osazeny 75LBC176, elektrické zapojení a funkce je stejná, jsou ale dostupnější v obchodech. Moduly a jednotky obsahují mikrokontroléry AVR, které vyžadují software pro správnou funkci. Většina modulů je zapojena tak, aby byl software pro ně podobný, připojení vnějších prvků k mikrokontroléru je ke stejným vývodům. Návrhy desek plošných spojů, které jsou uvedeny v přílohách, jsou oboustranné, prokovené s nevodivou maskou vyrobené na zakázku. Ve zdrojích jsou osazené kvalitní součástky s dlouhou životností. Na prototypu se vyzkouší požadované funkce. V dalším kroku dojde k použití displeje OLED namísto LCD, opraví se chyby v zapojení a vyrobí se nové desky podle umístění na vestě a ve zbrani, protože fyzické rozměry plastový či jiných částí, v kterých mají být uchycené desky, nebyly v době psaní této práce známy. Experimentovat se bude s akumulátory, jejich kapacitou nebo změnou pospojování pro dosažení lepší účinnosti měničů a tím i delší výdrží. Byly navrženy protokoly pro infračervený přenos dat mezi vysílací LED ve zbrani a přijímací čidlem na vestě (popř. ve zbrani). Pro další snížení spotřeby vesty je možno neosazovat transily, protože už bude nepravděpodobné, že by došlo k přepólování zdroje nebo připojení vyššího napětí na místa, kde být nemá. Každý transil má (při malém otvácím napětí) nezanedbatelný reverzní proud a při počtu modulů, kde jsou osazeny, tak lze ušetřit i několik mA. Další snížení spotřeby lze provést snížením jasu RGB LED, kterých je na jednom prototypu 10 kusů (tj. 30 ks LED). Fotografie dvou osazených modulů jsou na poslední straně dokumentu.

LITERATURA

- [1] ATMEL CORPORATION, *AVR ATMEGA88*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.atmel.com/Images/doc2545.pdf>.
- [2] HOPERF ELECTRONIC, *RFM01*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM01.pdf>.
- [3] STMICROELECTRONICS, *LIS35*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00259979.pdf.
- [4] VECTORNAV, *VN-100*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.vectornav.com/Downloads/Support/UM001.pdf>.
- [5] SST, *25VF064C*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/25036A.pdf>.
- [6] NXP SEMICONDUCTORS, *BC817*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BC817_BC817W_BC337.pdf
- [7] VISHAY, *SMBJ6.0A*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.vishay.com/docs/89284/smbj.pdf>.
- [8] PANASONIC, *CGR18650CG*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf2/ACA4000/ACA4000CE234.pdf>.
- [9] INTERNATIONAL RECTIFIER, *IRF9540*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf9540n.pdf>.
- [10] TEXAS INSTRUMENTS, *TL431*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf>.
- [11] TEXAS INSTRUMENTS, *LM2576*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>.
- [12] VISHAY, *kondenzátory MAL*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.vishay.com/docs/28321/136rvi.pdf>.
- [13] FERROCORE, *DE1207-100*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.tme.eu/cz/Document/1cc35e0145a4840a0b2307848fc27e1a/de.pdf>.
- [14] ANKAKA, *M850D1 laserový modul*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://laser.ankaka.com/infrared-ir-laser-module-focusable-dot-m850d131230-1mw-850nm_p47240.html.
- [15] OSRAM, *SFH213 fotodiody*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://catalog.osram-os.com/media/_en/Graphics/00042727_0.pdf.
- [16] NXP SEMICONDUCTORS, *BC807*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BC807_BC807W_BC327.pdf
- [17] CS.WIKIPEDIA.ORG, *RS-485*, internetová encyklopedie. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>.
- [18] VISHAY, *VSLY5850*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.vishay.com/docs/83160/vsly5850.pdf>

- [19] VISHAY, *TSOP4838*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.vishay.com/docs/82459/tsop48.pdf>
- [20] OSRAM, *SFH4550*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://catalog.osram-os.com/>
- [21] HUEY JANN ELECTRONICS INDUSTRY CO., LTD., *HTLB4A*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://files.hueyjann.tw/07NewTOP%20LEDs/HTLB4a-48ABDABDABD.pdf>
- [22] FREESCALE, *MMA8451Q*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8451Q.pdf
- [23] MICROCHIP, *MCP1700*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21826b.pdf>
- [24] NXP SEMICONDUCTORS, *PESD3V3S*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PESD3V3S4UF_PESD5V0S4UF.pdf
- [25] WIZNET, *WIZFI220*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://www.wiznet.co.kr/UpLoad_Files/ReferenceFiles/WizFi210_UM_V114E.pdf
- [26] ATMEL CORPORATION, *AVR ATMEGA128*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>
- [27] MOLEX, *WIFI ANTENA*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: http://www.molex.com/webdocs/datasheets/pdf/en-us/0479502001_ANTENNAS.pdf
- [28] SPARKFUN ELECTRONICS, *LCD-08600*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <https://www.sparkfun.com/products/8600>
- [29] TEXAS INSTRUMENTS, *LM2575*, katalogový list. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2575-n.pdf>
- [30] FARNELL, konektor SPOX, obrázek. [Online] citováno 20. května 2013. Dostupné na WWW: <http://cz.farnell.com/productimages/farnell/standard/2112409-40.jpg>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

MCU	– MicroController Unit – Mikrokontrolér, řadič
AD	– Analog to Digital Converter – Analogově - číslicový převodník
SPI	- Serial Peripheral Interface – Sériové periferní rozhraní
UART	- Universal Asynchronous serial Receiver and Transmitter – Univerzální asynchronní seriová linka.
PWM	- pulzně šířková modulace
IR	- infračervený (Infra Red)
ISP	- In System Programming
DPS	- Deska Plošných Spojů
RGB	- Red Green Blue
DSSS	- Direct Sequence Spread Spektrum
CCK	- Complementary Code Keying
LDO	- Low Drop Output

Privod napajeni

RS-485

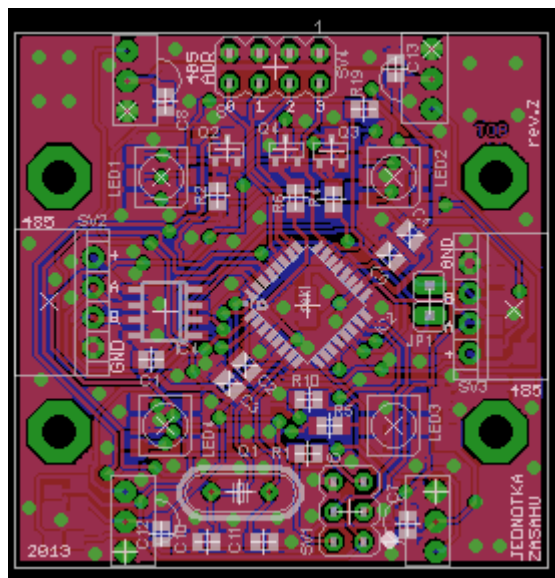
Mikrokontroler

IR cidla

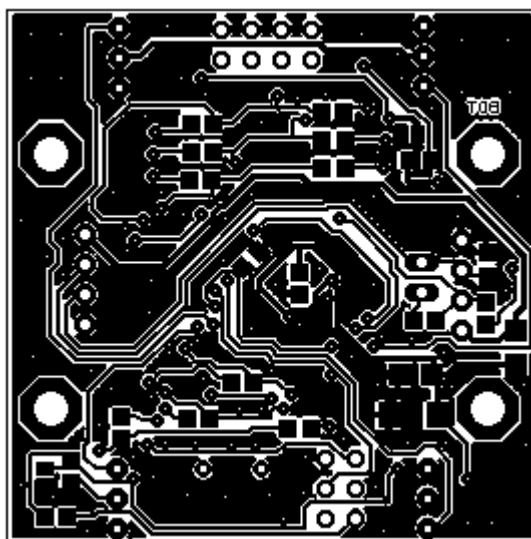
RGB LED

A.2 DPS modulu pro detekci zásahu.

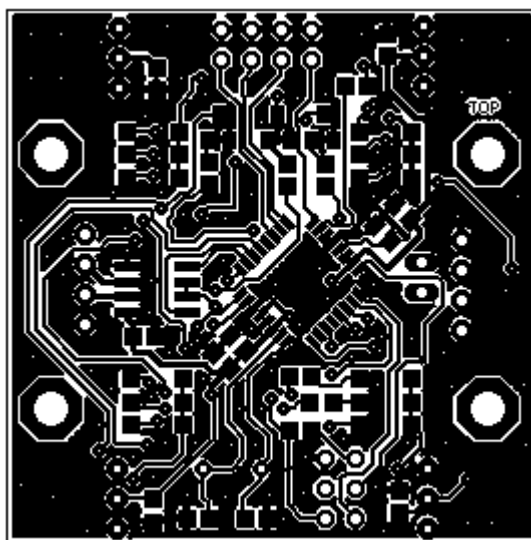
Rozměr DPS 45 x 45 mm.



Obrazec ze strany spojů (BOTTOM):



Obrazec ze strany součástek (TOP):



A.3 Rozpiska součástek modulu pro detekci zásahu.

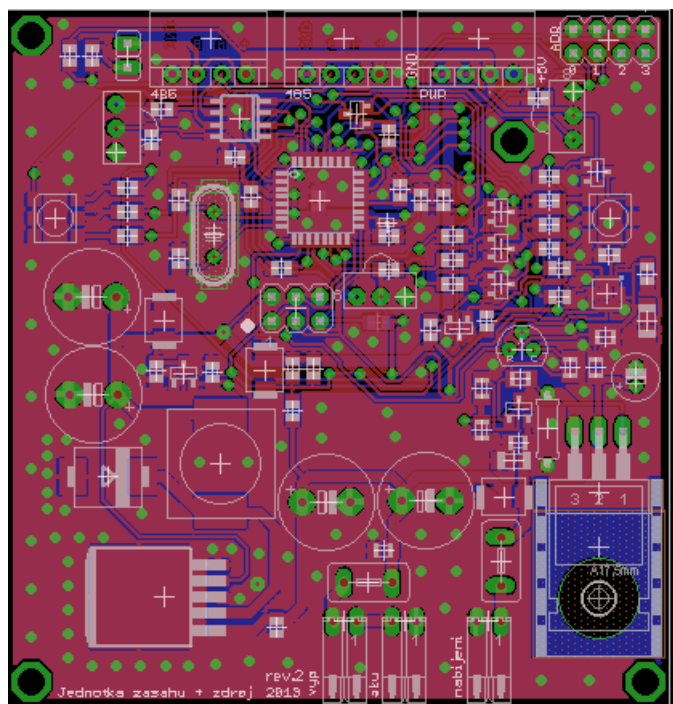
Součástka	Hodnota	Pouzdro	Technologie	Poznámka
C1,2,3,6,7,8,12,13	100n	C0805	keramika	
C4,5	1n	C0805	keramika	
C9	10u	C1206	keramika	
C10,11	22p	C0805	keramika	
D1	SMBJ6.0A	SMBJ		transil
F1	0.3A	F1206	polyfuse	
R1,21,20	4k7	R0805		
R2,4,6,18,19	1k	R0805		
R3,7,11,16	47R	R0805		
R5,8,13,15,17	120R	R0805		
R9,10,12,14	56R	R0805		
R22	47k	R0805		
LED1,2,3,4	HTLB4A	PLCC6		RGB
IC2	ATMEGA88	TQFP32		A
IC4	75LBC176A	SO08		RS485
IR-detektor	TSOP4838			
Q1	16MHz			krystal
Q2,3,4	BC817	SOT23		NPN
T1,2	BC807	SOT23		PNP
JP1				jumper
SV1,SV4				kolik.lišta
SV2,3		SPOX		4 pin 90st.

MENCI NA 5V

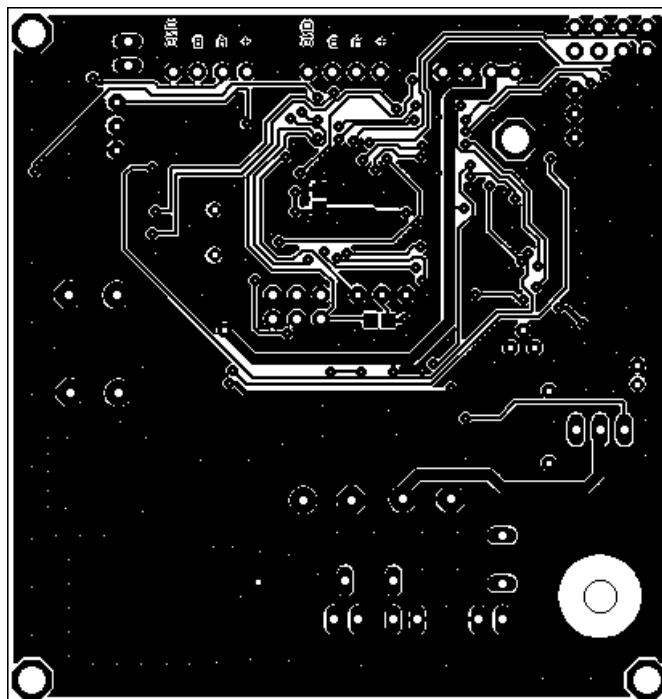
IC1: LM2576S-5 0N0P8
 C15: 100nF
 C16: 4.7uF
 C21: 100nF
 C14: 100nF
 C22: 100nF
 C23: 100nF
 C9: 100nF
 D1: 1N4001
 D2: 1N4001
 D3: 1N4001
 D4: 1N4001
 D5: 1N4001
 D6: 1N4001
 D7: 1N4001
 D8: 1N4001
 D9: 1N4001
 D10: 1N4001
 D11: 1N4001
 D12: 1N4001
 D13: 1N4001
 D14: 1N4001
 D15: 1N4001
 D16: 1N4001
 D17: 1N4001
 D18: 1N4001
 D19: 1N4001
 D20: 1N4001
 D21: 1N4001
 D22: 1N4001
 D23: 1N4001
 D24: 1N4001
 D25: 1N4001
 D26: 1N4001
 D27: 1N4001
 D28: 1N4001
 D29: 1N4001
 D30: 1N4001
 D31: 1N4001
 D32: 1N4001
 D33: 1N4001
 D34: 1N4001
 D35: 1N4001
 D36: 1N4001
 D37: 1N4001
 D38: 1N4001
 D39: 1N4001
 D40: 1N4001
 D41: 1N4001
 D42: 1N4001
 D43: 1N4001
 D44: 1N4001
 D45: 1N4001
 D46: 1N4001
 D47: 1N4001
 D48: 1N4001
 D49: 1N4001
 D50: 1N4001
 D51: 1N4001
 D52: 1N4001
 D53: 1N4001
 D54: 1N4001
 D55: 1N4001
 D56: 1N4001
 D57: 1N4001
 D58: 1N4001
 D59: 1N4001
 D60: 1N4001
 D61: 1N4001
 D62: 1N4001
 D63: 1N4001
 D64: 1N4001
 D65: 1N4001
 D66: 1N4001
 D67: 1N4001
 D68: 1N4001
 D69: 1N4001
 D70: 1N4001
 D71: 1N4001
 D72: 1N4001
 D73: 1N4001
 D74: 1N4001
 D75: 1N4001
 D76: 1N4001
 D77: 1N4001
 D78: 1N4001
 D79: 1N4001
 D80: 1N4001
 D81: 1N4001
 D82: 1N4001
 D83: 1N4001
 D84: 1N4001
 D85: 1N4001
 D86: 1N4001
 D87: 1N4001
 D88: 1N4001
 D89: 1N4001
 D90: 1N4001
 D91: 1N4001
 D92: 1N4001
 D93: 1N4001
 D94: 1N4001
 D95: 1N4001
 D96: 1N4001
 D97: 1N4001
 D98: 1N4001
 D99: 1N4001
 D100: 1N4001
 D101: 1N4001
 D102: 1N4001
 D103: 1N4001
 D104: 1N4001
 D105: 1N4001
 D106: 1N4001
 D107: 1N4001
 D108: 1N4001
 D109: 1N4001
 D110: 1N4001
 D111: 1N4001
 D112: 1N4001
 D113: 1N4001
 D114: 1N4001
 D115: 1N4001
 D116: 1N4001
 D117: 1N4001
 D118: 1N4001
 D119: 1N4001
 D120: 1N4001
 D121: 1N4001
 D122: 1N4001
 D123: 1N4001
 D124: 1N4001
 D125: 1N4001
 D126: 1N4001
 D127: 1N4001
 D128: 1N4001
 D129: 1N4001
 D130: 1N4001
 D131: 1N4001
 D132: 1N4001
 D133: 1N4001
 D134: 1N4001
 D135: 1N4001
 D136: 1N4001
 D137: 1N4001
 D138: 1N4001
 D139: 1N4001
 D140: 1N4001
 D141: 1N4001
 D142: 1N4001
 D143: 1N4001
 D144: 1N4001
 D145: 1N4001
 D146: 1N4001
 D147: 1N4001
 D148: 1N4001
 D149: 1N4001
 D150: 1N4001
 D151: 1N4001
 D152: 1N4001
 D153: 1N4001
 D154: 1N4001
 D155: 1N4001
 D156: 1N4001
 D157: 1N4001
 D158: 1N4001
 D159: 1N4001
 D160: 1N4001
 D161: 1N4001
 D162: 1N4001
 D163: 1N4001
 D164: 1N4001
 D165: 1N4001
 D166: 1N4001
 D167: 1N4001
 D168: 1N4001
 D169: 1N4001
 D170: 1N4001
 D171: 1N4001
 D172: 1N4001
 D173: 1N4001
 D174: 1N4001
 D175: 1N4001
 D176: 1N4001
 D177: 1N4001
 D178: 1N4001
 D179: 1N4001
 D180: 1N4001
 D181: 1N4001
 D182: 1N4001
 D183: 1N4001
 D184: 1N4001
 D185: 1N4001
 D186: 1N4001
 D187: 1N4001
 D188: 1N4001
 D189: 1N4001
 D190: 1N4001
 D191: 1N4001
 D192: 1N4001
 D193: 1N4001
 D194: 1N4001
 D195: 1N4001
 D196: 1N4001
 D197: 1N4001
 D198: 1N4001
 D199: 1N4001
 D200: 1N4001
 D201: 1N4001
 D202: 1N4001
 D203: 1N4001
 D204: 1N4001
 D205: 1N4001
 D206: 1N4001
 D207: 1N4001
 D208: 1N4001
 D209: 1N4001
 D210: 1N4001
 D211: 1N4001
 D212: 1N4001
 D213: 1N4001
 D214: 1N4001
 D215: 1N4001
 D216: 1N4001
 D217: 1N4001
 D218: 1N4001
 D219: 1N4001
 D220: 1N4001
 D221: 1N4001
 D222: 1N4001
 D223: 1N4001
 D224: 1N4001
 D225: 1N4001
 D226: 1N4001
 D227: 1N4001
 D228: 1N4001
 D229: 1N4001
 D230: 1N4001
 D231: 1N4001
 D232: 1N4001
 D233: 1N4001
 D234: 1N4001
 D235: 1N4001
 D236: 1N4001
 D237: 1N4001
 D238: 1N4001
 D239: 1N4001
 D240: 1N4001
 D241: 1N4001
 D242: 1N4001
 D243: 1N4001
 D244: 1N4001
 D2

A.5 DPS napájecího modulu.

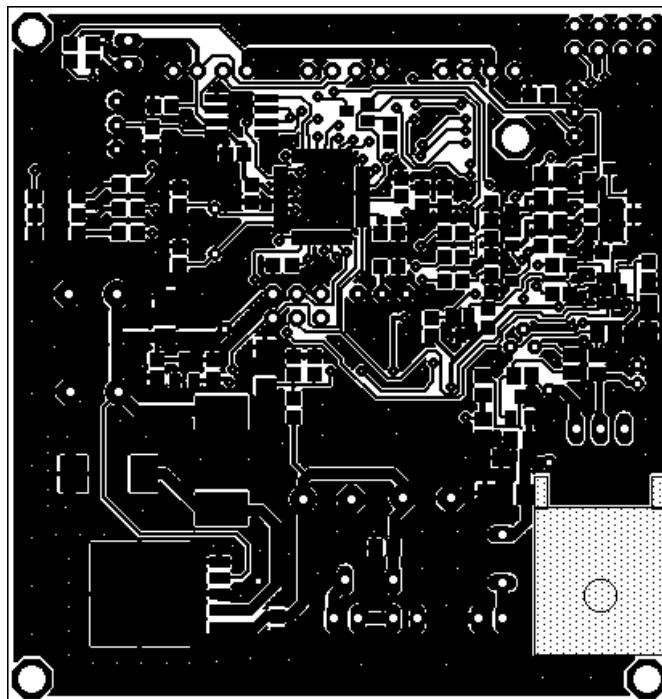
Rozměr DPS 70 x 73mm.



Obrazec ze strany spojů (BOTTOM):



Obrazec ze strany součástek (TOP):

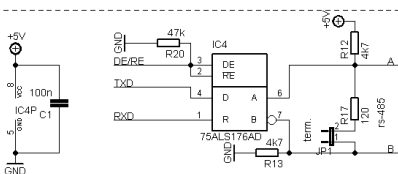
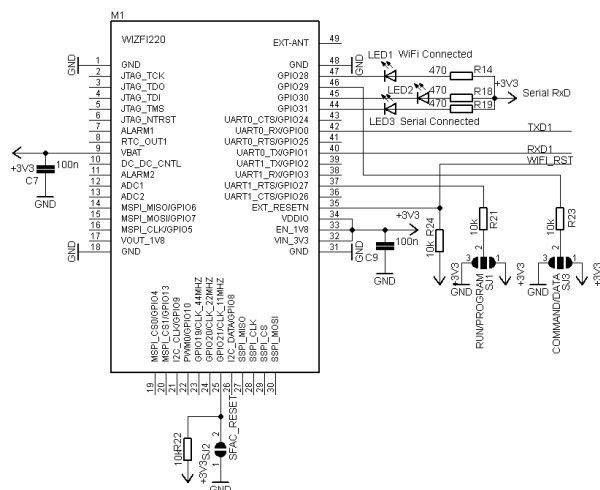
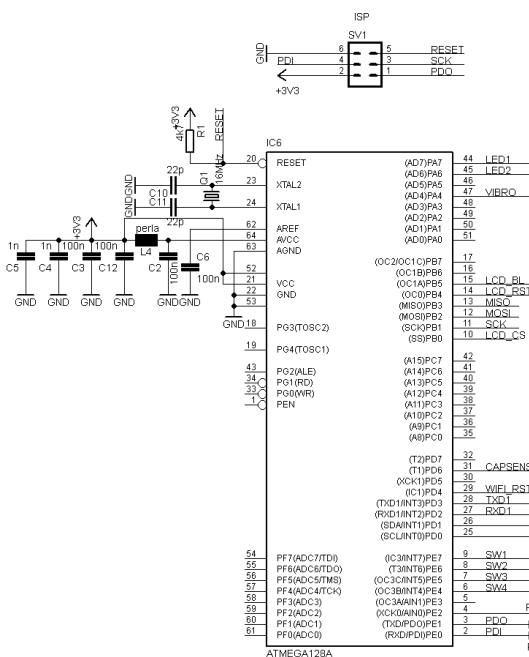
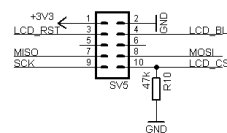
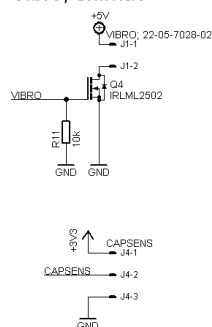
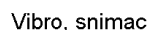
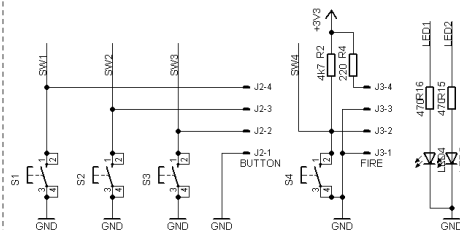
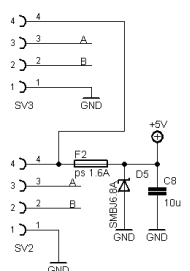
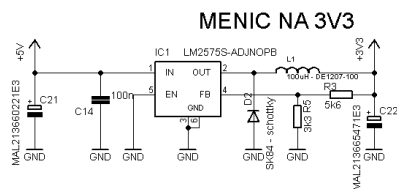


A.6 Rozpiska součástek napájecího modulu.

Součástka	Hodnota	Pouzdro	Technologie	Poznámka
C1,2,3,6,7,8,9,13,14,15,20,24,17	100n	C0805	keramika	
C4,5	1n	C0805	keramika	
C10,11	22p	C0805	keramika	
C12,C25,C26	1u	C0805	keramika	
C16	47u		elektrolyt	
C18	220u/35V		elektrolyt	
C19,C27	10u	C1206	keramika	
C21	MAL213660221E3		Elektrolyt.	
C22,23	MAL213665471E3		Elektrolyt.	
R1,30,12,13,8,9	4k7	R0805		
R2,3,6,18,19,23,3,7	1k	R0805		
R5,15,17	120R	R0805		
R10,14	56R	R0805		
R11,16	47R	R0805		
R22	100R	R0805		
R24	22k	R0805		
R25	100k	R0805		
R26	18k	R0805		
R27	2k2	R0805		
R28	4R7	tht		
R29	12k	R0805		
R20	47k	R0805		

D2	SK84	SMC		schottky
D3,4	SMBJ6.0A	SMBJ		transil
D5	SMBJ12A	SMBJ		transil
IC1	LM2576S-5.0NOPB	TO263-5		měníč
IC2	ATMEGA88	TQFP32		A
IC4	75LBC176	SO08		RS485
IR detektor	TSOP4838	3x		
Q1	16MHz			krystal
Q2,3,4	BC817	SOT23		NPN
Q6	BC807	SOT23		PNP
Q7	IRF9540	TO220		unipol
T1,2	BC807	SOT23		PNP
VR1	TL431	TO92		reference
LED1,2	HTLB4A	PLCC6		RGB
F2,3	1A	jako TE5		polyfuse
SL1,2,3	2pin	print		konektor se zámkem
SV1,SV5	6pin			kolik.lišta
SV2,3,4	4pin	spox		SPOX
L1	100uH	DE1207		
L4	1-100uH	L0603		
IC3	MMA8451Q	QFN16		akcelerometr
IC5	MCP1700-3302	SOT23		LDO
D1	PESD3V3S	SOT23		transil

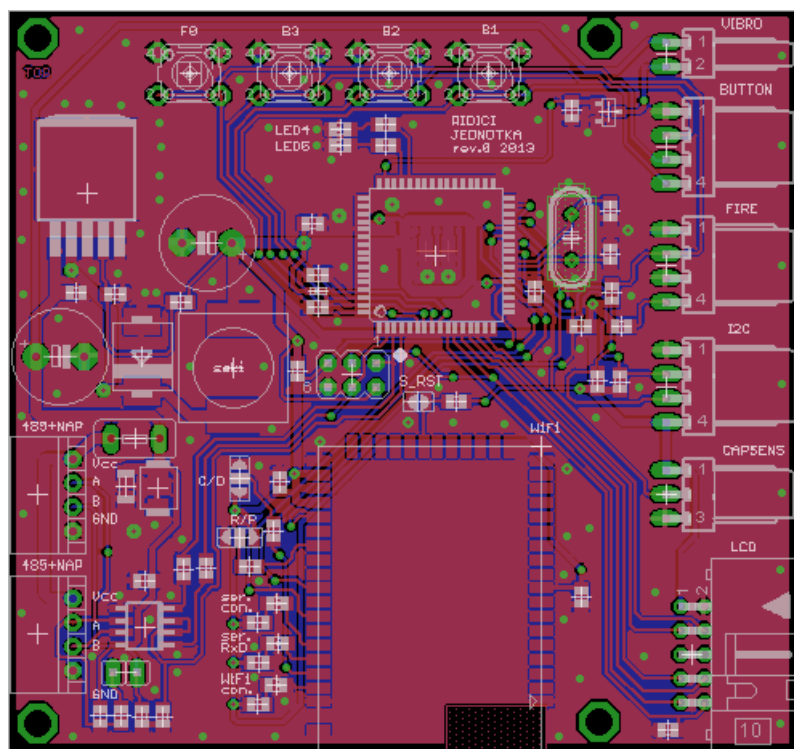
A.7 Schéma zbraňové jednotky



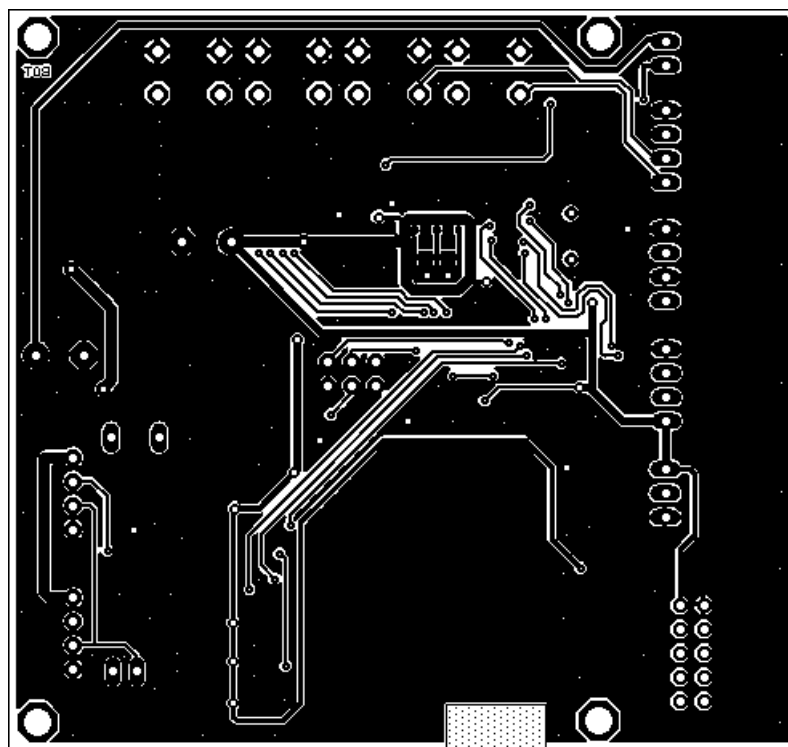
RS-485

A.8 DPS zbraňové jednotky

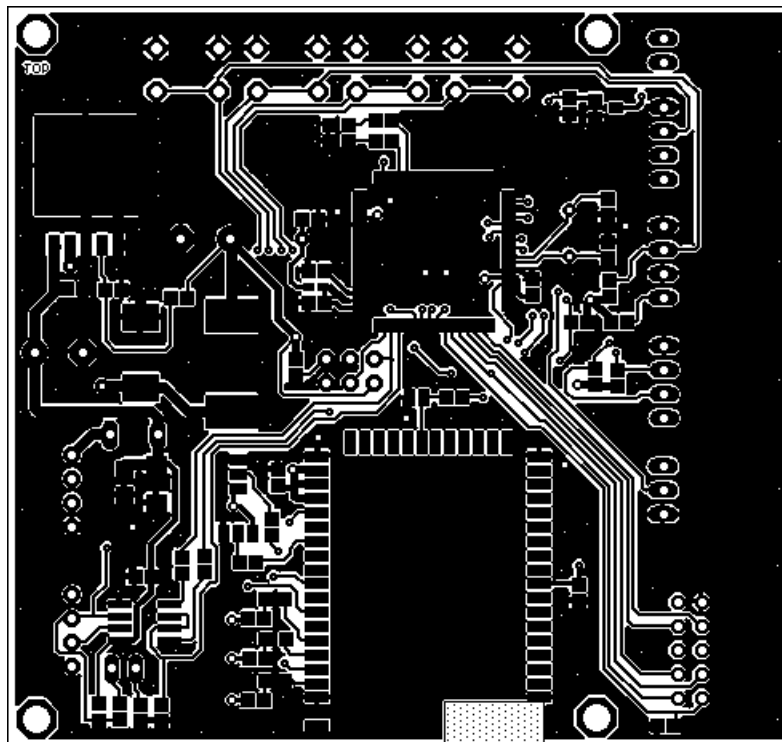
Rozměr DPS 83 x 78mm.



Obrazec ze strany spojů (BOTTOM):



Obrazec ze strany spojů (TOP):

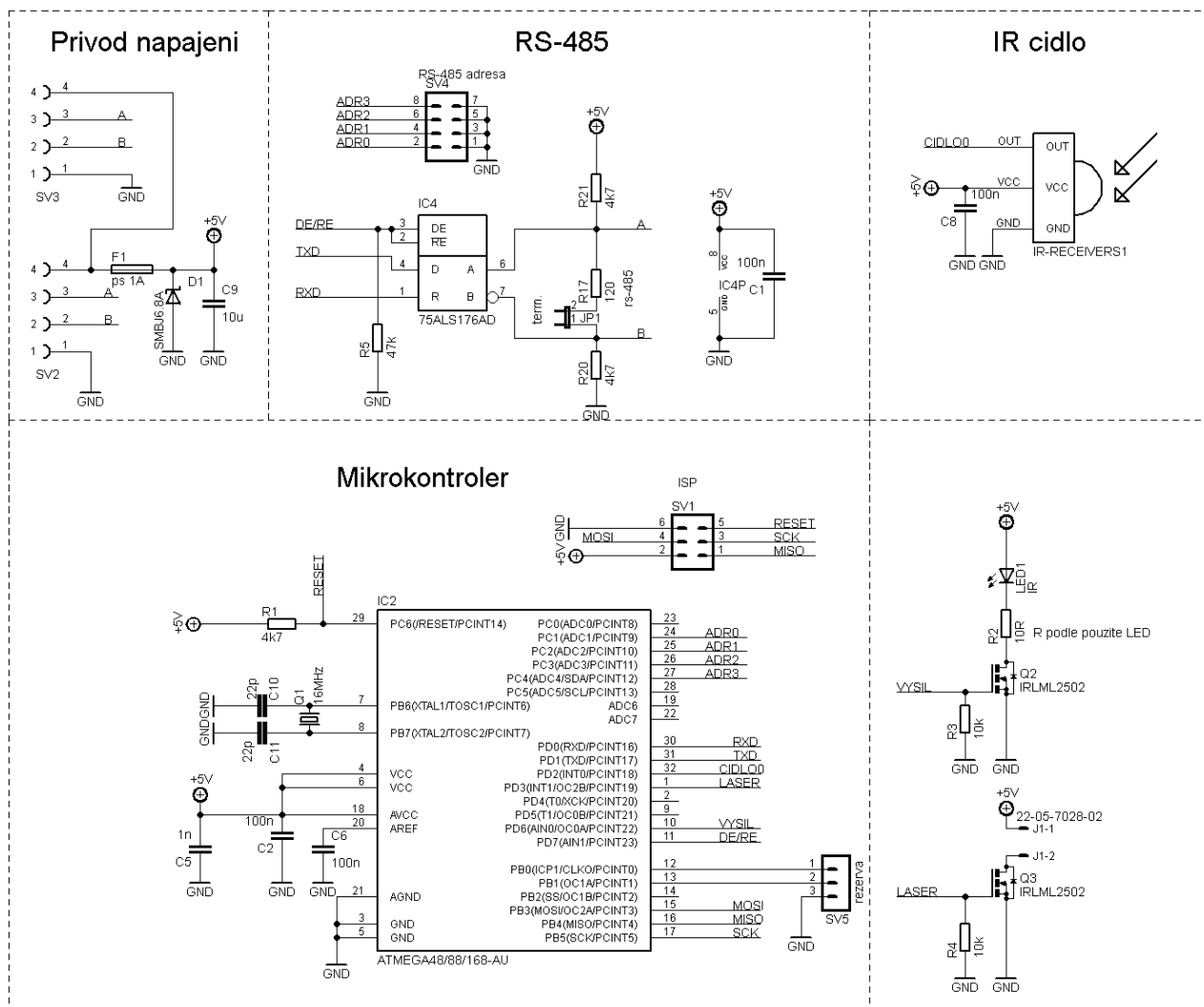


A.9 Rozpiska součástek zbraňové jednotky

Součástka	Hodnota	Pouzdro	Technologie	Poznámka
C1,2,3,6,7,9,12,14	100n	C0805	keramika	
C4,5	1n	C0805	keramika	
C8	10u	C1206	keramika	
C22	MAL213665471E3	E5-10,5	low ESR	
C21	MAL213660221E3	E5-10,5	low ESR	
C10,11	22p	C0805	keramika	
D5	SMBJ6.0A	SMB		transil
D2	SK84	SMC		
F2	1.6A	F1206	polyfuse	
R1,2,8,9,12,13	4k7	R0805		
R3	5k6	R0805		
R4,6,7	220R	R0805		
R17	120R	R0805		
R10,20	47k	R0805		
R11,21,22,23,24	10k	R0805		
R14,15,16,18,19	470R	R0805		
LED1,2,3,4,5	ruzne barvy	LED0805		
IC6	ATMEGA128	TQFP32		
IC1	LM2575S-ADJNOPB	D-PAK		
IC4	75ALS176AD	SO08		RS485
J1-5	PRINT			konektor se zámkem

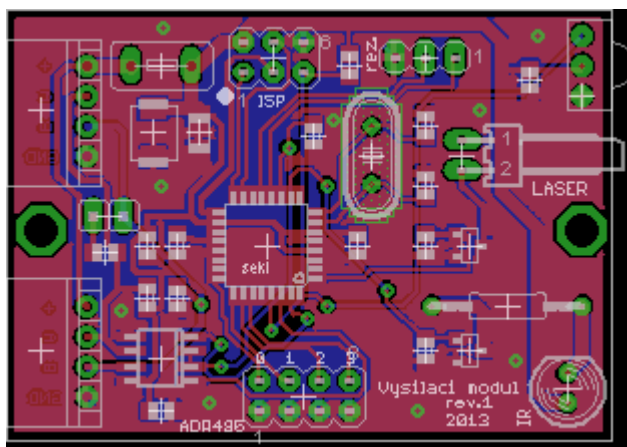
Q1	16MHz			krystal
Q4	IRLML2502			
SV5	ML10L			2x5, 90°
JP1				jumper
SV1				kolik.lišta
SV2,3		SPOX		4 pin 90st.
L1	DE1207-100			
L4	perla	L0603		
M1	WizFi220			Wi-Fi modul

A.10 Schéma vysílacího modulu

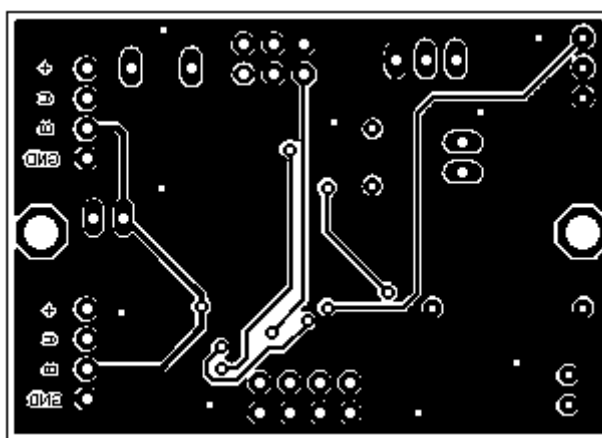


A.11 DPS vysílacího modulu

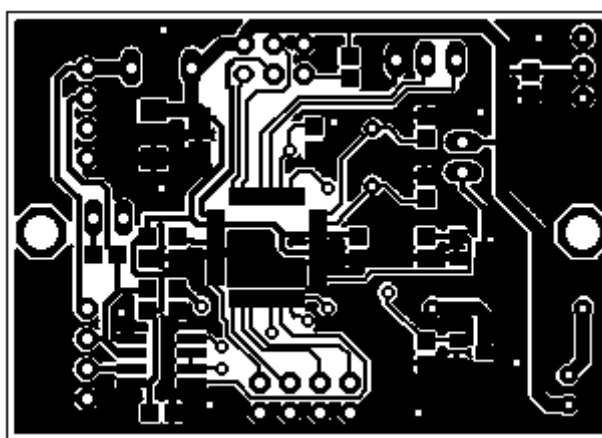
Rozměr DPS 36 x 51mm.



Obrazec ze strany spojů (BOTTOM):



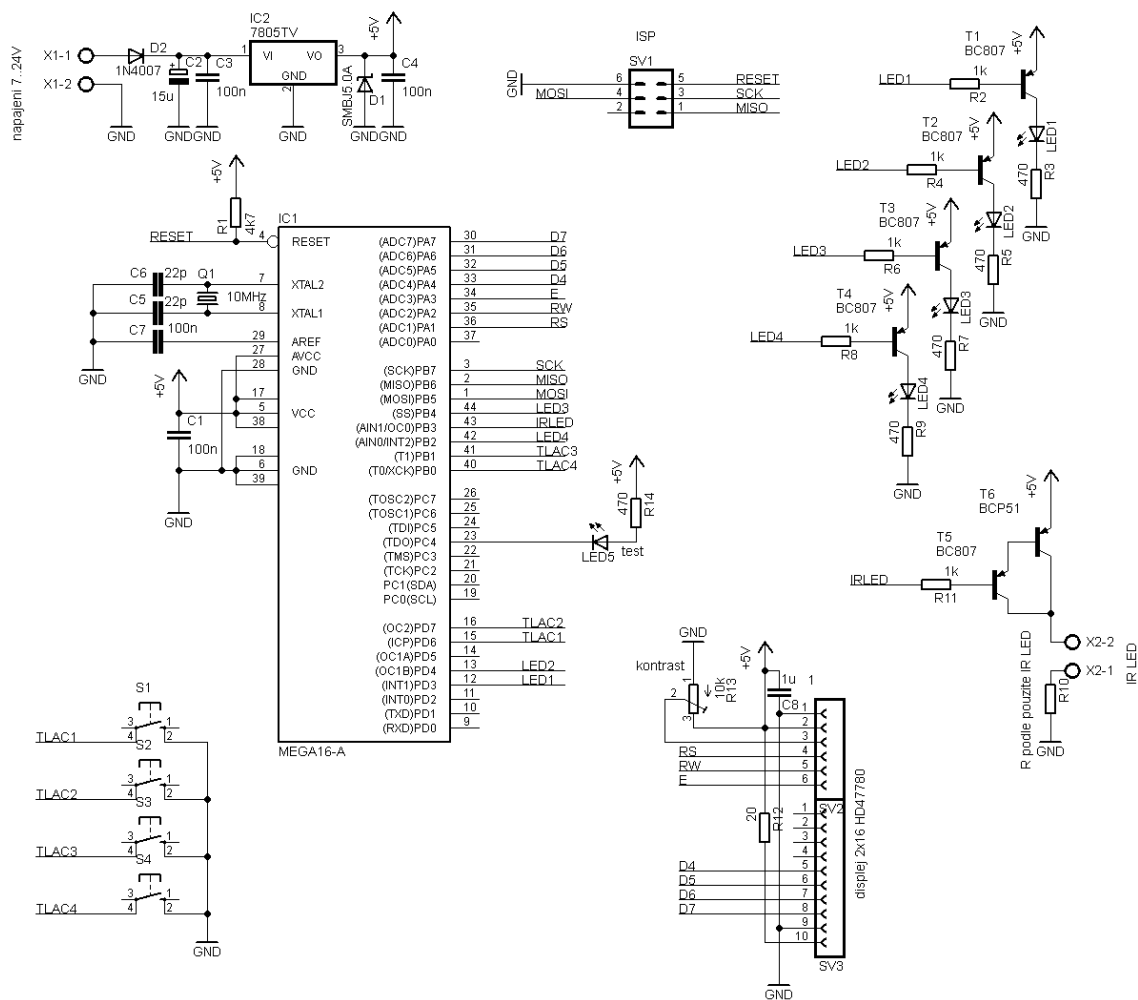
Obrazec ze strany součástek (TOP):



A.12 Rozpiska součástek vysílacího modulu

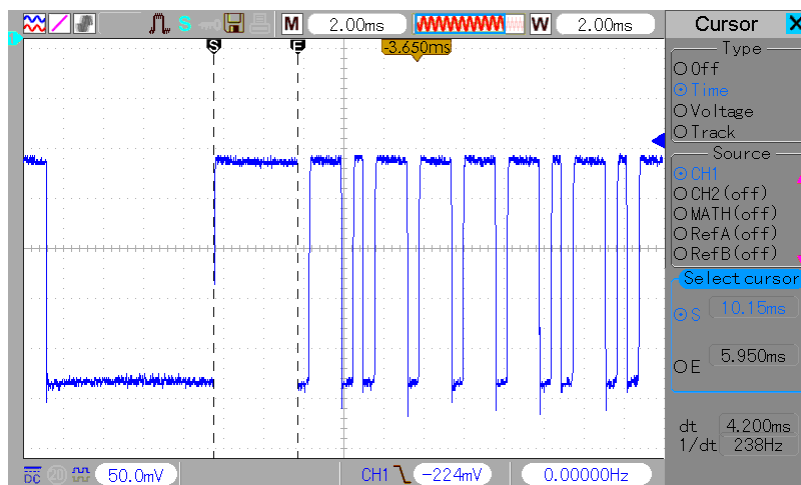
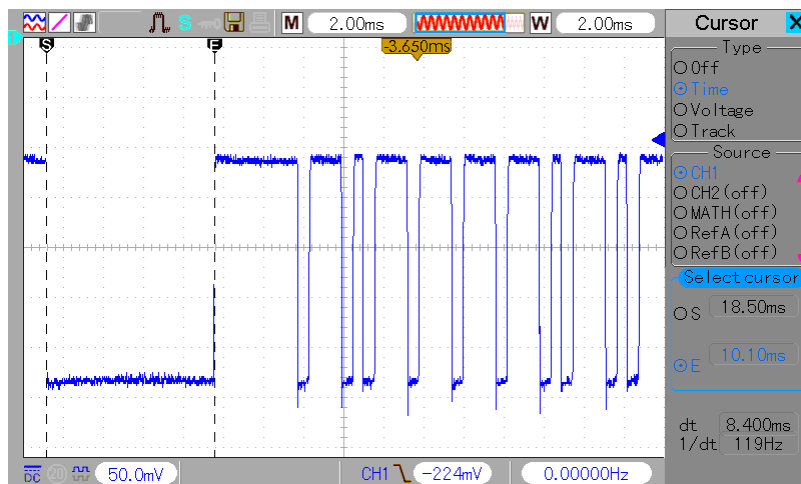
Součástka	Hodnota	Pouzdro	Technologie	Poznámka
C1,2,6,8	100n	C0805	keramika	
C5	1n	C0805	keramika	
C9	10u	C1206	keramika	
C10,11	22p	C0805	keramika	
D1	SMBJ6.0A	SMB		transil
F1	1.0A	F1206	polyfuse	
R1,20,21	4k7	R0805		
R2	10R	THT		
R3,4	10k	R0805		
R17	120R	R0805		
1.01	IR	LED5mm		InfraRed
IC2	ATMEGA88	TQFP32		A
IC4	75LBC176	SO08		RS485
IR-detektor	TSOP4838			
Q1	16MHz			krystal
Q2,3	IRLML2502	SOT23		
SV5	rezerva			kolik.lišta
J1	print			2pin 90° se zamkem
JP1				jumper
SV1,4				kolik.lišta
SV2,3		SPOX		4 pin 90st.

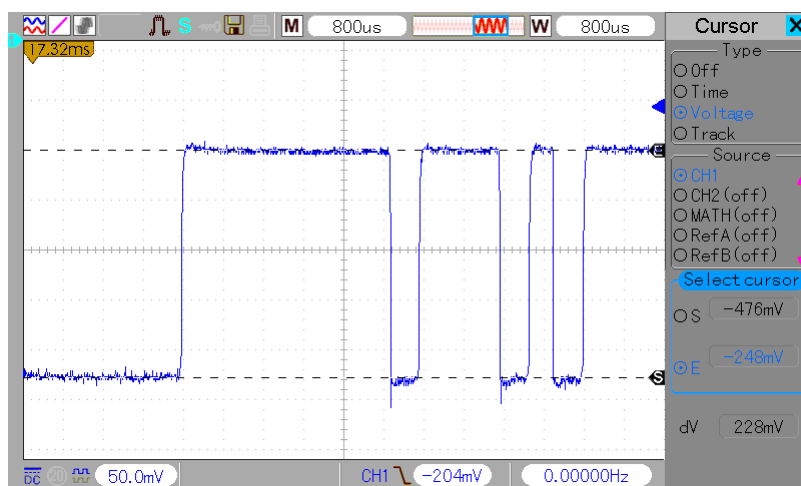
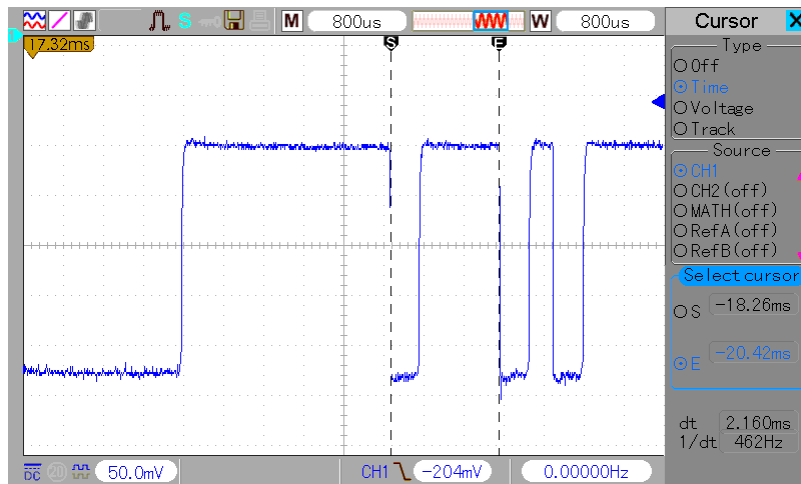
A.13 Schéma zapojení pokusného vysílače kódu



B ČASOVÉ PRŮBĚHY VYSÍLANÉ LASEROVÝM MODULEM

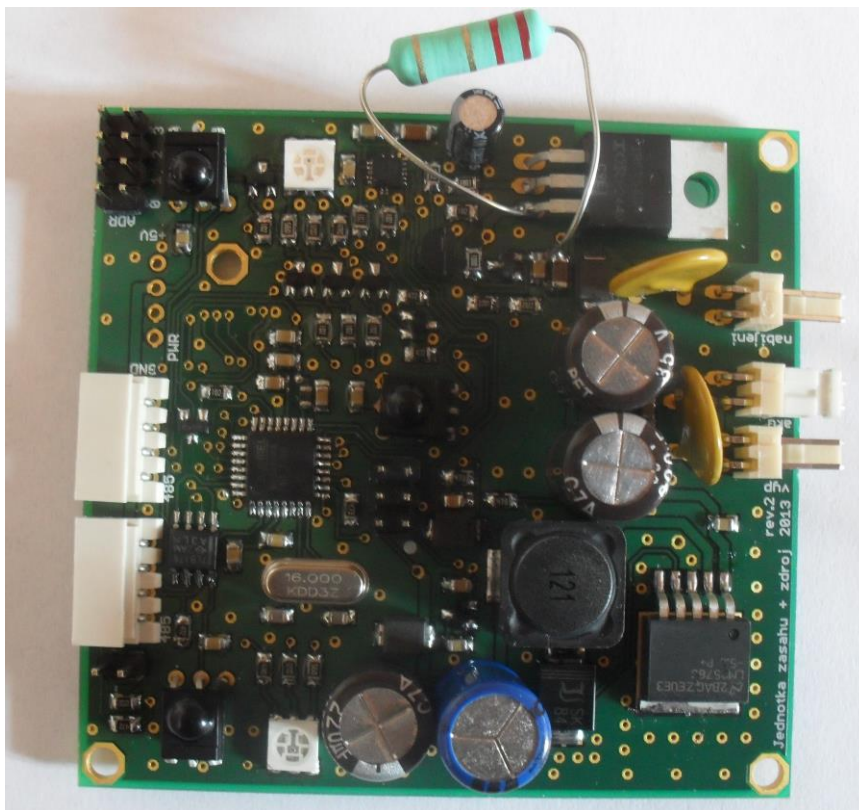
Průběhy jsou naměřené pomocí fotodiody SFH213 a zachyceny osciloskopem Tekway.





C FOTOGRAFIE

Napájecí modul s experimentálním rezistorem určující proud nabíjení akumulátorů.



Jednotka zásahu.

